

**No English title available.**

Patent Number: DE4216643  
Publication date: 1993-11-25  
Inventor(s): BEYER ECKHARD DR ING (DE); FUNK MARTIN DIPL ING (DE); KALLA GEORG DIPL ING (DE)  
Applicant(s): FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)  
Requested Patent: ☐ DE4216643  
Application Number: DE19924216643 19920520  
Priority Number(s): DE19924216643 19920520  
IPC Classification: B23K26/00; B23K15/00; B23K26/14  
EC Classification: B23K26/04  
Equivalents: ☐ EP0641271 (WO9323196), B1, ☐ WO9323196

AS

Docket # 4512  
USSN: 10/616,688  
A.U.: 1725  
Conf. # 1599

**Abstract**

A soldering process is disclosed with several high energy soldering beams, in particular laser beams. The soldering beams simultaneously irradiate two opposite outer surfaces of the workpieces and the thickness of the workpieces in the soldering area is partially melted, forming a steam capillar joint. In order to speed up soldering and to improve the quality of the seam, the soldering beams are controlled so as to form continuous steam capillar joints between the workpiece outer surfaces. At least one soldering beam is controlled with a quick process regulation of the position of its soldering head in relation to the instant position of the steam capillar joint of another soldering beam.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift  
⑩ DE 42 16 643 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>: 4512  
B 23 K 26/00  
B 23 K 15/00  
// B23K 26/14

⑳ Aktenzeichen: P 42 16 643.8  
㉑ Anmeldetag: 20. 5. 92  
㉒ Offenlegungstag: 25. 11. 93

DE 42 16 643 A 1

㉑ Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

㉒ Vertreter:

Sturies, H., Dipl.-Phys. Dr.-Ing.; Eichler, P., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 42289 Wuppertal

㉓ Erfinder:

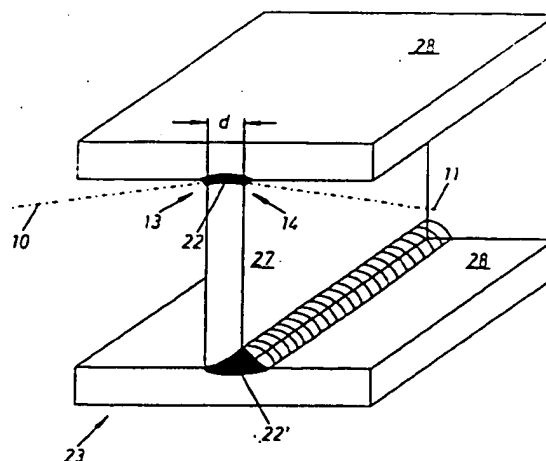
Beyer, Eckhard, Dr.-Ing., 5106 Rötgen, DE; Funk,  
Martin, Dipl.-Ing., 5100 Aachen, DE; Kalla, Georg,  
Dipl.-Ing., 5100 Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉔ Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen mit mehreren Hochenergie-Schweißstrahlen

㉕ Schweißverfahren mit mehreren Hochenergie-Schweißstrahlen, insbesondere mit Laserstrahlen, bei dem die Schweißstrahlen (10, 11) gleichzeitig auf den Schweißbereich (12) einstrahlen.

Um ein schnelleres Verschweißen zu erreichen und die Nahtqualität zu verbessern, wird so verfahren, daß die Schweißstrahlen (10, 11) beim Schweißen auf zwei einander gegenüberliegende Werkstückaußenflächen (13, 14) einstrahlen und die Werkstückdicke (d) des Schweißbereichs (12) jeweils anteilig aufschmelzen.



DE 42 16 643 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 5-93 309 037 165

Die Erfindung bezieht sich auf ein Schweißverfahren mit mehreren Hochenergie-Schweißstrahlen, insbesondere mit Laserstrahlen, bei dem die Schweißstrahlen gleichzeitig auf den Schweißbereich einstrahlen.

Ein Schweißverfahren mit den vorgenannten Merkmalen ist aus der DE 36 30 889 A1 bekannt. Mehrere Laserstrahlen werden in Schweißrichtung hintereinander auf einen Schweißbereich gerichtet. Es werden Behälterrümpfe aus Blech unter Zuhilfenahme von Andruckmitteln mit hoher Geschwindigkeit geschweißt. Ein solches Verfahren ist wegen der in Schweißrichtung hintereinanderliegenden mehrfachen Schweißstellen nicht unkritisch.

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Schweißverfahren mit den eingangs genannten Verfahrensschritten so zu verbessern, daß es beim Strahlschweißen die Schweißgeschwindigkeit und Nahtqualität insbesondere bei großen Werkstückdicken erheblich zu steigern erlaubt.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Schweißstrahlen beim Schweißen auf zwei einander gegenüberliegende Werkstückaußenflächen einstrahlen und die Werkstückdicke des Schweißbereichs jeweils anteilig aufschmelzen.

In Schweißrichtung hintereinanderliegende Schweißstellen eines Schweißbereichs und damit die infolgedessen auftretenden Nachteile können dadurch vermieden werden, daß die Schweißstrahlen von zwei Seiten auf denselben Schweißbereich treffen. Infolgedessen können die Schmelzen beider Schweißstrahlen miteinander in innigen Kontakt kommen, was sich positiv auf die Nahtfestigkeit auswirkt. Von Bedeutung ist darüber hinaus jedoch vor allem, daß die Werkstückdicke von den Schweißstrahlen jeweils anteilig aufgeschmolzen wird. Ist der Werkstoff über die Werkstückdicke homogen, so werden die Schweißstrahlen bei einander parallelen Werkstückaußenflächen zweckmäßigerweise jeweils die Hälfte der Werkstückdicke aufschmelzen. Infolgedessen ist eine stärkere Fokussierung möglich, wenn man davon ausgeht, daß diejenige Länge, auf der die Intensität des Schweißstrahls um die Hälfte absinkt, etwa gleich der aufzuschmelzenden Werkstückdicke sein soll. Infolge der stärkeren Fokussierung ergibt sich eine schlankere Schweißnaht, was gleichbedeutend mit einer entsprechenden Steigerung der Schweißgeschwindigkeit ist.

Wenn man zuläßt, daß die Tragfähigkeit der Schweißverbindung geringer ist, als wenn eine vollständige Verbindung vorläge, weil die Werkstückdicke nicht vollkommen durchgeschweißt wird und/oder weil die beiden Schweißstrahlen in Bezug aufeinander einen Längsversatz und/oder einen Querversatz aufweisen, so wird doch eine erhebliche Steigerung der Schweißgeschwindigkeit und damit eine Herabsetzung der insgesamt benötigten Schweißzeit erreicht. Soll jedoch eine Verbesserung der Tragfähigkeit der Schweißverbindung bewirkt werden, verbunden mit einer Steigerung der Schweißgeschwindigkeit, so ist es erforderlich, das Schweißverfahren so durchzuführen, daß die Steuerung der Schweißstrahlen im Sinne der Bildung einer einzigen, zwischen den Werkstückaußenflächen durchgängigen Dampfkapillaren erfolgt. Infolge der durchgängigen Dampfkapillaren ist eine verbesserte Entgasung aus der Schweißkapillaren möglich. Das führt zu einer Verminderung von Poren, Lunkern oder Rissen in demjenigen Bereich, in dem sich die einzelnen Kapillaren der

Schweißstrahlen treffen. Auch hieraus resultiert eine Möglichkeit zur Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit, insbesondere für den Fall zulässiger verringerter Verbindungsfestigkeit.

Weil die Entgasung aus einer durchgängigen Dampfkapillaren am besten ist, wenn diese möglichst gerade ist, wird das Verfahren so durchgeführt, daß beide Schweißstrahlen zur Erzielung eines geradlinigen Verlaufs der durchgängigen Dampfkapillaren zwischen den Werkstückaußenflächen entgegen der Schweißrichtung geneigt auf den Schweißbereich einstrahlen.

Um die Ausbildung der Schweißnaht zu beeinflussen, kann es notwendig sein, die Schweißstrahlen zu oszillieren, also in Schweißrichtung und/oder quer dazu hin- und herzuschwenken, und/oder zu modulieren, also die Strahlleistung in zeitlicher Abhängigkeit zu ändern. In diesem Fall ist es vorteilhaft, das Verfahren so durchzuführen, daß die Schweißstrahlen zur Formung der Dampfkapillaren örtlich und zeitlich aufeinander abgestimmt oszilliert und/oder moduliert werden.

Wenn die beiden Schweißstrahlen so gesteuert werden, daß sie eine durchgängige Dampfkapillare bilden, so muß außer mit Positions- und Steuerungsgenauigkeiten der Schweißköpfe auch mit gegenseitiger Beeinflussung der Schweißstellen jedes Schweißstrahls gerechnet werden. Solche gegenseitigen Beeinflussungen sind wegen der kurzzeitigen Prozeßabläufe beim Strahlschweißen entsprechend kurzzeitig. Es ist daher vorteilhaft, wenn mindestens ein Schweißstrahl mit einer schnellen Prozeßregelung für die Position seines Schweißkopfes in Bezug auf die jeweilige Position der Dampfkapillaren des anderen Schweißstrahls gesteuert wird. Auf diese Weise kann dafür gesorgt werden, daß die Durchgängigkeit der Dampfkapillaren stets optimal ist und eine eventuell erforderliche Ausregelung schnellstmöglich erfolgt, so daß eine negative Beeinflussung der Schweißnaht nur sehr gering ist.

Zweckmäßigerweise wird das Verfahren so durchgeführt, daß die Steuerung des Schweißstrahls in Abhängigkeit von durch die Dampfkapillare hindurchtretender Strahlung und/oder in den Strahlengang eingekoppelter Strahlung anderer Wellenlänge erfolgt. Bei diesem Verfahren wird davon ausgegangen, daß eine optimale Ausregelung vorliegt, wenn die durch die Dampfkapillare hindurchtretende Strahlung maximal ist. Dem liegt die Vorstellung zugrunde, daß der Kapillarenquerschnitt am größten ist, wenn die auf die Schweißstrahlen jeweils zurückgehenden Einzelkapillaren infolge der zutreffenden Positionierung der Schweißköpfe fluchten.

Falls eine Steuerung des Schweißstrahls nur dann erfolgt, wenn die Leistung der durch die Dampfkapillare hindurchtretenden Strahlung einen Bereich zwischen zwei vorgegebenen anwendungsspezifischen Schwellwerten verläßt, kann davon ausgegangen werden, daß zeitlich kurzfristige Schwankungen der durch die Dampfkapillare hindurchtretende Laserstrahlung keinen Einfluß auf den Regelungsvorgang haben. Kurzzeitige Intensitätsschwankungen od. dgl. für die Prozeßregelung auftretende Störungen können auf diese Weise ausgeblendet werden.

Darüber hinaus wird das Verfahren zweckmäßigerweise so durchgeführt, daß bei einem Unterschreiten eines unteren Schwellwertes zunächst die Position des einen Schweißkopfes gesteuert und dann bedarfsweise die Strahlleistung eines Schweißstrahls oder beider Schweißstrahlen erhöht wird. Es erfolgt also eine Abstufung der Eingriffe in die Regelung derart, daß zunächst die Positionierung der Schweißstrahlen sichergestellt

wird, bevor durch eine Beeinflussung der Strahlleistung auf den Schweißprozeß Einfluß genommen wird.

Des weiteren wird das Verfahren zweckmäßigerweise so durchgeführt, daß bei einem Überschreiten des oberen Schwellwertes die Schweißgeschwindigkeit erhöht und/oder die Strahlleistung eines Schweißstrahls oder beider Schweißstrahlen erniedrigt wird. Das erste dient der Leistungssteigerung, das andere beispielsweise einer Anpassung an die Schweißkontur.

Eine weitere bedeutsame Möglichkeit zur Überwachung des Verfahrens liegt darin, daß die Durchgängigkeit der Dampfkapillaren und/oder deren Position im Schweißbereich und/oder Unregelmäßigkeiten der Schmelzbewegungen mittels Plasmafluktuationen überwacht werden. Dieser Verfahrensweise liegt die Voraussetzung zugrunde, daß Plasmafluktuationen sehr empfindlich auf Prozeßveränderungen reagieren und daher andererseits sehr geeignet dafür sind, als Regelgröße für das Verfahren verwendet zu werden.

Es ist vorteilhaft, wenn zur Detektion der durch die Dampfkapillare hindurchtretenden Strahlen ein strahlungsauskoppelnder Spiegel verwendet wird. Der strahlungsauskoppelnde Spiegel kann an die jeweilige Meßaufgabe angepaßt sein. Es kann beispielsweise ein Beugungs-, ein Scraper-, ein Lochspiegel oder ein teildurchlässiger Spiegel verwendet werden. Die Auswahl hängt von der Art der zu detektierenden Strahlung und deren Strahlungsquerschnitt ab.

Eine weitere vorteilhafte Möglichkeit zur Durchführung des Verfahrens besteht darin, daß eine on-line-Prozeßüberwachung mit optischen und/oder akustischen Sensoren erfolgt, die die Schweißnaht hinter dem jeweiligen Schweißbereich erfassen. In diesem Fall wird das Schweißergebnis überwacht, nämlich die durch das Schweißverfahren hergestellte Schweißnaht. Als optische und/oder akustische Sensoren können alle Meßmittel verwendet werden, die unabhängig von der Ausbildung des Plasmas eine Erfassung der Schweißnahtausbildung ermöglichen.

Mit vorstehendem Verfahren ergibt sich zugleich die Möglichkeit, das Schweißverfahren so durchzuführen, daß die Position der Schweißstrahlen in Abhängigkeit von der Ausbildung der Schweißnaht und/oder deren Lage im verschweißten Werkstück gesteuert wird. Eine derartige Steuerung ist völlig ausreichend, weil sich die Ausbildung der Schweißnaht und/oder deren Lage im verschweißten Werkstück mit den herkömmlichen Meßmitteln sehr präzise und bereits unmittelbar hinter der Schweißstelle erfassen läßt.

Es kann auch sehr vorteilhaft sein, daß Ultraschall und/oder eine Messung der Wärmestrahlung der Schweißnaht und/oder des verschweißten Werkstücks für die Prozeßüberwachung eingesetzt wird. Mit Ultraschall kann die Schweißnaht auf Poren, Risse oder Lunker überwacht werden, wobei die Möglichkeit besteht, die Schweißnaht durch sichthemmende Bauteile hindurch zu überwachen, beispielsweise durch den Gurt eines T-Stoßes hindurch. Mit Hilfe der Wärmestrahlung kann die Oberfläche des Werkstücks direkt überwacht werden und damit Einfluß genommen werden, falls die Abkühlgeschwindigkeit unzulässige Werte aufweist.

Von besonderer Bedeutung ist es, das Schweißverfahren so durchzuführen, daß beim Schweißen mit Laserstrahlung, die im wesentlichen quer zur Schweißrichtung auf den Schweißbereich der Werkstücke gerichtet und gegen eine Werkstückaußenfläche geneigt ist, polarisierte Laserstrahlung verwendet wird, deren Polarisationsrichtung mit der Schweißrichtung einen Winkel

von etwa 45° einschließt. Infolge der gewählten Polarisationsrichtung ergibt sich eine Ausbildung der Dampfkapillaren, die von der Einstrahlrichtung quer zur Schweißrichtung ausbiegt. Diese Ausbiegung kann vorteilhaft bei den vorbeschriebenen Verfahren ausgenutzt werden, aber auch generell, wenn T- und I-Stöße od. dgl. zu schweißen sind, bei denen der Laserstrahl nicht senkrecht auf eine der Werkstückaußenflächen fallen kann, weil die Laseroptik eine endliche Ausdehnung hat und dadurch die an sich gewünschte Ausrichtung behindert wird. Die Ausbildung der Dampfkapillaren kann dann dazu benutzt werden, die gewünschte Anordnung der Schweißnaht zumindest annähernd zu erreichen.

Es ist bekannt, einen Laserstrahl mit elliptischem Querschnitt zu verwenden, um bei vorgegebener Relativgeschwindigkeit zwischen Laserstrahl und Werkstück länger auf letzteres einstrahlen zu können, um die Wärmezufuhr zu steigern. Wenn derartiges für beidseitiges Schweißen nutzbar gemacht werden soll, wird zweckmäßigerweise so verfahren, daß beide Schweißstrahlen im Schweißbereich gleich ausgerichteten elliptischen Querschnitt aufweisen.

Das Schweißverfahren ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn es zum Schweißen von T- und I-Stößen sowie von Überlapp- und Bördelnähten eingesetzt wird. In diesen Fällen kann ein zuverlässiges Durchschweißen der Werkstücke erreicht werden und es ist möglich, das Schweißverfahren in erforderlicher Weise insbesondere dann anzupassen, wenn für die Stege und Gurte der jeweiligen Profile unterschiedliche Dicken eingesetzt werden müssen und/oder unterschiedliche belastungsgerechte Werkstoffe zu verwenden sind.

Das Verfahren kann dadurch verbessert werden, daß die Werkstücke an vorbestimmten Stellen vorgeheizt und/oder gekühlt werden. Für das Vorheizen und/oder für das Kühlen können alle möglichen bekannten Maßnahmen ergriffen werden.

In Abhängigkeit von der Ausbildung der Schweißnaht kann es sehr vorteilhaft werden, daß zur Herstellung der Schweißnaht Zusatzwerkstoff zugeführt wird und/oder daß Werkstückteile mit bartbehafteten Stoßkanten zum Schweißen verwendet werden. Der Zusatzwerkstoff und/oder der Bart der Stoßkanten werden durch die Hochenergiestrahlung oder durch die Restwärme der Schweißnaht aufgeschmolzen und tragen dazu bei, einen etwaigen Nahteinfall auszugleichen.

Es empfiehlt sich, das Verfahren so durchzuführen, daß T-Stöße mit senkrechtem Steg und waagrechtem Gurt bei etwa horizontal angeordneten Schweißstrahlen geschweißt werden. Ein besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist es, daß zugeführter Zusatzwerkstoff beim Schweißen nicht aufgrund einer Schwerkraftwirkung zwischen Steg und Gurt von oben nach unten hindurchfließen kann.

Für den Fall einer Kühlung der Werkstücke kann das Verfahren so durchgeführt werden, daß die Kühlung der Werkstücke durch steg- und/oder gurtpositionierende, strömungsgekühlte Rollen oder Walzen erfolgt. Es ergibt sich eine erhebliche Vereinfachung im Aufbau der Vorrichtung.

Um das Heruntertropfen der Schmelze und damit die Ausbildung einer asymmetrischen Kehlnahtoberfläche zu verhindern, wird das Schweißverfahren so durchgeführt, daß bei tropfgefährdeten Schweißbereichen ein Stützgas von unten auf den Schweißbereich geblasen wird. Das Stützgas kann eine hinreichende Gegenkraft aufbringen, die das Herabtropfen von Schmelze aus dem Schweißbereich verhindert. Als Gas kann beispiels-

weise ein oxydationsverhinderndes Arbeitsschutzgas verwendet werden. Es ist aber auch möglich, ein Prozeßgas zu verwenden, beispielsweise Argon bzw. ein Gasgemisch aus Argon und anderen Gasen, durch welches eine Einkopplung von Energie in den Schweißbereich erhöht wird. Es kann aber auch Helium oder ein Gasgemisch mit Helium und/oder Wasserstoff angewendet werden, welches die Einkopplung von Energie in ein Plasma oberhalb des Schweißbereichs hemmt.

Von besonderem Vorteil ist es, wenn das Verfahren so durchgeführt wird, daß der Schweißbereich koaxial zum Schweißstrahl mit Helium oder mit einem Gasgemisch mit Helium und/oder Wasserstoff beaufschlagt wird, und daß im Winkel zum Schweißstrahl Argon auf den Schweißbereich geblasen wird. Mit Hilfe des im Winkel zum Laserstrahl aufgeblasenen Argons kann ein Argonplasma ausgebildet und aufgeheizt werden, das zu einer vergrößerten Anschmelzung der Oberfläche führt. Hierdurch wird die Gefahr der Bildung von Einbrandkerben im Rand der Schmelzzone verringert. Durch den gleichzeitigen Auftrag von den Plasmaprozeß dämpfenden Gasen koaxial zum Laserstrahl wird verhindert, daß der Laserstrahl oberhalb des Werkstücks zu stark absorbiert wird.

Wenn das Argongas von vor der Naht auf den Schweißbereich und bedarfsweise auf von hinten zugeführten Zusatzwerkstoff geblasen wird, so erfolgt eine Ausbreitung des Argonplasmas über die erstarrende Schmelze der Schweißnaht, wodurch diese geglättet und die Seiten des Schmelzbereichs angeschmolzen werden, was eine kelchförmige Naht entstehen läßt, die eine erhöhte Verbindungsfestigkeit gewährleistet. Die Ausbreitung des Argonplasmas entgegen der Schweißrichtung kann dazu benutzt werden, den mit Bezug auf die Schweißrichtung von hinten zugeführten Zusatzwerkstoff mit höheren Temperaturen aufzuschmelzen. Darüber hinaus wird die exakte Positionierung des Zusatzwerkstoffs unkritischer.

Wenn erreicht werden soll, daß zwischen den Werkstückaußenflächen gelegene Bereiche des Werkstücks schneller angeschmolzen und besser miteinander verbunden werden sollen, so wird so verfahren, daß das Argongas von vor der Naht in den Schweißspalt und bedarfsweise auf in den Spalt eingebrachten Zusatzwerkstoff geblasen und dort von dem laserstrahlkoaxialen Gas gehalten wird. Es erfolgt eine Aufheizung des Werkstücks vor allem von innen her, die aber durch das laserstrahlkoaxiale Gas außen in Grenzen gehalten wird. Durch den Zusatzwerkstoff kann die zuverlässige Auffüllung des Schweißspalts von innen her gewährleistet werden.

Für das Bearbeiten eines Werkstücks mit gleichzeitiger Anwendung zweier Laserstrahlen ist es für das Bearbeitungsergebnis von Bedeutung, die radiale Intensitätsverteilung dieser Laserstrahlen zu erfassen. Das bietet beispielsweise für das simultane Schweißen mit zwei Laserstrahlen die Möglichkeit, eine einzige durchgehende Dampfkapillare im Werkstück zu gewährleisten. Dabei wird so verfahren, daß die Strahlen vor einem Bearbeitungsvorgang auf eine Meßstelle ausgerichtet werden, an der nach einem Meßvorgang eine zwischen den Werkstückaußenflächen gelegene Bearbeitungsstelle des Werkstücks angeordnet wird, und daß an dieser Meßstelle die radiale Intensitätsverteilung der beiden Strahlen ermittelt wird. Im Falle einer Schweißbearbeitung sind die Strahlen Laserstrahlen zum Schweißen.

Eine Vorrichtung zur Durchführung eines oder mehrerer der vorbeschriebenen Verfahren ist dadurch ge-

kennzeichnet, daß zwei den einander gegenüberliegenden Werkstückaußenflächen benachbarte Schweißstrahl-optiken vorhanden sind, die jeweils einen den Längsversatz und einen den Querversatz eines der Schweißstrahlen beeinflussenden Spiegel aufweisen. Durch entsprechende Positionierung der Spiegel kann erreicht werden, daß die erforderliche Ausrichtung der Schweißstrahlen zueinander mit einfachen Mitteln zuverlässig gewährleistet wird. Eine weitere einfache Verbesserung der Laseroptik ergibt sich dadurch, daß zumindest eine Strahl-optik einen Spiegel aufweist, mit dem der Schweißstrahl im wesentlichen quer zur Schweißrichtung gerichtet und gegen eine Werkstückaußenfläche geneigt auf den Schweißbereich zu richten ist. Eine derartige Ausbildung der Vorrichtung ist insbesondere zum Schweißen von T- und I-Stößen geeignet.

Eine Vorrichtung zur Ermittlung der radialen Intensitätsverteilung zweier auf einer Meßstelle ausgerichteter Laserstrahlen ist dadurch gekennzeichnet, daß ein keilförmiger, je einen Teil beider Strahlen ausblendender Reflektor im Bereich der Meßstelle beweglich angeordnet ist. Ein solcher Reflektor gewährleistet die Gleichzeitigkeit der Messung bei beiden Strahlen.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines Doppel-T-Profils zur Erläuterung des beidseitigen Schweißens,

Fig. 2 ein schematisches Diagramm zur Erläuterung der Abhängigkeit der Schweißtiefe von der Schweißgeschwindigkeit,

Fig. 3a bis d schematische Darstellungen zur Erläuterung der Verbesserung der Schweißleistung in Abhängigkeit von der Fokussierung des Laserstrahls,

Fig. 4 den Versatz von Dampfkapillaren zweier Schweißstrahlen, die nicht fluchten,

Fig. 5 zwischen den Werkstückaußenflächen durchgängige Schweißkapillaren,

Fig. 6a eine Aufsicht auf einen Schweißbereich zur Erläuterung der Ausbildung der Dampfkapillaren gemäß Fig. 6b,

Fig. 7 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Einsatzes eines Laserstrahls zur Erzeugung einer gekrümmten Schweißnaht für den Fall der Anwendung bei einem T-Stoß,

Fig. 8 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Ausbildung einer Vorrichtung zum Detektieren von die Dampfkapillare durchdringender Strahlung,

Fig. 9, 10 unterschiedliche Ausbildungen von Laseroptiken zur Ausrichtung der Schweißstrahlen auf die Werkstücke,

Fig. 11 einen Querschnitt eines Doppel-T-Profils zur Erläuterung eines gleichzeitigen Schweißens mit vier Schweißstrahlen,

Fig. 12 eine perspektivische Darstellung zur Erläuterung einer Vorheizung eines Schweißbereichs,

Fig. 13 eine schematische Darstellung einer Führung eines Stegs und eines Gurts zum Verschweißen eines T-Stoßes,

Fig. 14 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Einsatzes von Gas zum Abstützen von Schmelze aus einem tropfgefährdeten Schweißbereich,

Fig. 15 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Zusammenwirkens zweier unterschiedlichen Einflüsse auf den Schweißprozeß nehmender Gase,

Fig. 16 eine schematische Darstellung eines T-Stoßes zur Erläuterung der Auswirkung des Prozeßgases Argon auf die Ausbildung der Schweißnaht,

Fig. 17a eine perspektivische Darstellung zur Erläuterung

terung der Anwendung zweier unterschiedlich Einfluß auf den Prozeßablauf nehmender Gase im Fall dickerer Schweißspalte,

Fig. 17b eine schematische Darstellung der Anwendung der Fig. 17a mit weiteren Details,

Fig. 18 die Anwendung eines Ultraschallsensors zur Ermittlung von Poren od. dgl. nach Fertigstellung der Naht,

Fig. 19 bis 21 schematische Darstellungen zur Erläuterung der Ermittlung der Lage der Schweißnaht relativ zu den miteinander zu verbindenden Werkstücken,

Fig. 22 eine schematische Darstellung zur Überwachung der Schweißnahtausbildung mit einem optischen Sensor,

Fig. 23 eine schematische Darstellung zur Überwachung des Werkstücks mit Temperatursensoren,

Fig. 24 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Anordnung der Sensoren relativ zum die Laseroptik aufweisenden Schweißkopf,

Fig. 25 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum simultanen Erfassen der radialen Intensitätsverteilung zweier Laserstrahlen und

Fig. 26a, b die Schnitte A-A und B-B der Fig. 25.

Fig. 1 zeigt ein Doppel-T-Profil, dessen beide Gurte 28 mit dem Steg 27 verschweißt sind. Die Verschweißung des unteren Gurts 28 mit dem Steg 27 ist in herkömmlicher Weise ausgeführt, also von einer Seite, so daß sich eine entsprechende einseitige Naht 22' ergibt. Es ist ersichtlich, daß ein vergleichsweise großer Querschnitt aufgeschmolzen werden muß. Die Naht 22' ist extrem unsymmetrisch. Es besteht die Gefahr des Verzugs des rechten Winkels. Die Naht hat auf der Schweißseite eine voluminöse, durch Zusatzwerkstoff zu erzielende Schweißbraupe. Die Schweißgeschwindigkeit ist vergleichsweise gering. Demgegenüber ist der obere Gurt 28 mit dem Steg 27 durch zwei Schweißstrahlen 10, 11 verschweißt. Es ergibt sich eine kleinvolumige, symmetrische Ausbildung der Schweißnaht 22 zwischen den beiden einander gegenüberliegenden Werkstückaußenflächen 13, 14. Die Querschnittsausbildung der Schweißnaht 22 ist der Geometrie des verschweißten Werkstücks 23 offenbar optimal angepaßt. Das Schweißen mit zwei Schweißstrahlen 10, 11 eignet sich infolgedessen insbesondere für Werkstücke, die in I- oder T-Konfiguration oder im Überlapp-Stoß oder mit einer Bördelnah verschweißt werden. Unter I-Stoß wird der stumpfe Stoß zweier Werkstücke verstanden, die in einer Ebene liegen.

Eine Besonderheit derartigen Schweißens liegt darin, daß die Schweißgeschwindigkeit größer ist, als wenn nur mit einem einzigen Schweißstrahl gearbeitet würde. Das ergibt sich aus Fig. 2. Diese zeigt die Schweißtiefe  $t_s$  in Abhängigkeit von der Schweißgeschwindigkeit  $v_s$  für zwei unterschiedliche Leistungen  $P$  eines Laserstrahls. Für die Kennlinie  $P = 10 \text{ kW}$  ist ersichtlich, daß bei einer Schweißtiefe  $t_{s1}$  nur mit einer vergleichsweise geringen Schweißgeschwindigkeit  $v_{s1}$  geschweißt werden kann. Bei einer nur halb so großen Schweißtiefe  $t_{s2}$  wäre die Schweißgeschwindigkeit  $v_{s2}$  mehr als dreimal so groß. Zugleich ist aber ersichtlich, daß bei einer Schweißtiefe von  $t_{s2}$  mit einer Leistung von  $P = 5 \text{ kW}$  noch mit einer Schweißgeschwindigkeit  $v_{s3}$  geschweißt werden könnte, die größer als doppelt so hoch ist, wie die Schweißgeschwindigkeit  $v_{s1}$ . Diese Schweißgeschwindigkeit kann genutzt werden, wenn die Schweißnaht 22 mit Schweißstrahlen der Leistung  $P = 5 \text{ kW}$  von beiden einander gegenüberliegenden Werkstückaußenflächen 13, 14 geschweißt wird. Die gesamte Werkstückdicke  $d$  wird je-

weils anteilig von den beiden Schweißstrahlen 13, 14 aufgeschmolzen.

In den Fig. 3a bis 3d ist dargestellt, wie sich die Aufteilung eines Schweißstrahls 10 bzw. die Anwendung zweier Strahlen der Teilstrahlen 10, 11 beim Schweißen eines Werkstücks 23 mit der Werkstückdicke  $d$  im einzelnen auswirkt. Die Fig. 3a, b zeigen als Schweißstrahl 10 einen Längsschnitt eines fokussierten Laserstrahls. Definitionsgemäß ist  $z_1$  diejenige Länge, über die die Intensität der Laserstrahlung bis zum Fokus  $F$  um die Hälfte absinkt. Es ist ersichtlich, daß der Fokusedurchmesser  $d_f$  umso größer ist, je größer die Länge  $z_1$  ist. Da für das Schweißen größerer Werkstückdicken  $d$  größere Längen  $z_1$  benötigt werden, wird die Schweißkapillare im Werkstück 23 umso dicker, je größer  $d_f$  wird. Beim Schweißen der gesamten Werkstückdicke  $d$  mit zwei Schweißstrahlen 10, 11 von zwei einander gegenüberliegenden Werkstückaußenflächen aus kann gemäß Fig. 3c erreicht werden, daß die Schweißkapillare 37 nur eine vergleichsweise geringe Dicke hat.

Beim Schweißen mit zwei Schweißstrahlen 10, 11 muß dafür gesorgt werden, daß die Schweißstrahlen im Schweißbereich 12 einander möglichst genau gegenüberliegen. Das gilt insbesondere für das Strahlschweißen, bei dem jeder Schweißstrahl eine Dampfkapillare 15 ausbildet, deren aus verdampftem Werkstoff bestehender Dampf möglichst vollständig aus der Dampfkapillaren 15 ins Freie ausströmen muß, damit sich im Inneren des Werkstücks 23 keine Poren oder Lunker bilden. Naturgemäß gelingt diese Entgasung aus den am tiefsten gelegenen Bereichen der Dampfkapillaren am schlechtesten. Hier besteht daher die Gefahr, daß das Gas in die Schmelze eingeschlossen wird und es infolgedessen zu den unerwünschten Poren 39 kommt. Fig. 4 zeigt zwei Schmelzzonen 38, die gemäß dem linken Teil dieser Darstellung einen Längsversatz  $a$  in der Schweißrichtung  $x_s$  haben. Die Schmelzzonen 38 überlappen sich zwar über die Dicke  $d$  des Werkstücks 23, ihre Dampfkapillaren 15 sind jedoch ersichtlich nicht durchgängig. Im rechten Teil der Fig. 4 ist ersichtlich, daß die Dampfkapillaren 15 bzw. die Schmelzzonen 38 einen Querversatz  $b$  aufweisen, also in der Richtung  $y_s$  versetzt sind, welche senkrecht zur Schweißrichtung  $x_s$  gegeben ist. Ein derartiges gleichzeitiges Schweißen mit zwei Schweißstrahlen im Längs- und/oder Querversatz  $a, b$  kann nur dann akzeptiert werden, wenn an die Schweißnaht bzw. an die Verbindungsfestigkeit des Werkstücks 23 nur vergleichsweise geringe Anforderungen gestellt werden, die also auch beispielsweise die Bildung von Poren 39 zulassen.

Ein entscheidender Vorteil für die Naht- bzw. Verbindungsgüte ergibt sich dann, wenn die Steuerung der Schweißstrahlen 10, 11 so erfolgt, daß sich eine einzige, zwischen den Werkstückaußenflächen 13, 14 durchgängige Dampfkapillare 15 ergibt. In diesem Fall können die innenliegenden Bereiche 15' der Dampfkapillaren 15 wesentlich besser entgasen. Eine Verminderung der Schweißfehler ist die Folge. Die linke Darstellung der Fig. 5 zeigt allerdings, daß insbesondere bei höheren Schweißgeschwindigkeiten im Mittelbereich 15' der Dampfkapillaren 15 Unförmigkeiten in deren Ausbildung auftreten können. Diese Unförmigkeiten ergeben sich als Folge des Umstands, daß die Strahlung an der in Schweißrichtung  $x_s$  gelegenen Schweißfront im oberen Bereich der Dampfkapillaren 15 besser eingekoppelt wird, als im Mittelbereich 15'. Insofern ist hier die Gefahr der Bildung von Schweißfehlern vergleichsweise größer, als in den äußeren Endbereichen der Dampfkapa-

pillaren 15. Daher werden die Schweißstrahlen 10, 11 gemäß Fig. 5, rechte Darstellung, entgegen der Schweißrichtung  $x_s$  um den Winkel  $\Theta$  geneigt. Es ergibt sich ein geradliniger Verlauf der durchgängigen Dampfkapillare 15 zwischen den Werkstückaußenflächen 13, 14 mit entsprechend verringerter Gefahr der Schweißfehlerbildung im Mittelbereich 15'.

Fig. 6a zeigt eine Aufsicht auf ein Werkstück 23, bei dem mit einem Schweißstrahl in einem Schweißbereich 12 eine Schweißnaht 22 hergestellt wird. Eine Besonderheit bei diesem Schweißverfahren ist es, daß die verwendete Laserstrahlung polarisiert ist. Die Polarisationsrichtung  $p$  ist gemäß Fig. 6a um  $45^\circ$  gegen die Schweißrichtung  $x_s$  geneigt. Infolgedessen ergibt sich aufgrund der Reflexionsverhältnisse bzw. aufgrund der Absorptionsverhältnisse für die um  $45^\circ$  polarisierte Laserstrahlung des Schweißstrahls 10 in der Dampfkapillaren der dargestellte gekrümmte Verlauf der Schmelzzone 38 mit einer Komponente  $y_s$  quer zur Schweißrichtung  $x_s$ . Diese Formung der Schmelzzone 38 kann beim Schweißen von Stößen bzw. von gestoßen angeordneten Werkstücken vorteilhaft ausgenutzt werden. Fig. 7 zeigt das Verschweißen eines Gurtes 28 mit einem Steg 27, bei dem der Laserstrahl 10 um einen Winkel  $\Theta'$  der Werkstückaußenfläche 13 geneigt ist. Die in Fig. 6b dargestellte Schmelzzone 38 entspricht dann in Fig. 7 etwa der Hälfte der Schweißnaht 22, deren andere Hälfte von einem zur Stegachse 27' spiegelsymmetrischen, nicht dargestellten Schweißstrahl erzeugt wird.

Um die Schweißstrahlen 10, 11 so auszurichten, daß sich eine durchgängige Dampfkapillare 15 zwischen den Werkstückaußenflächen 13, 14 des Werkstücks 23 ergibt, müssen diesen Werkstückaußenflächen 13, 14 benachbarte Schweißstrahloptiken 33, 34 vorhanden sein, die den ihnen jeweils zugeordneten Schweißstrahl 10, 11 auszurichten erlauben. Diese Strahloptiken 33, 34 sind in jeweils einem nicht dargestellten Schweißkopf angeordnet, dessen Position gesteuert werden kann. Die Steuerung erfolgt entsprechend einem Meßergebnis, welches vorteilhafterweise darauf basiert, daß durch die Dampfkapillare hindurchtretende Strahlung gemessen wird. Fig. 8 zeigt, daß Laserstrahlung 17 über einen Spiegel 24' der Strahloptik 33 auf einen fokussierenden Spiegel 35 gelenkt wird, der die Laserstrahlung 17 des Laserstrahls 10 durch das Werkstück 23 hindurch auf den fokussierenden Spiegel 35 der auf der anderen Werkstückaußenfläche 14 gelegenen Strahloptik 34 lenkt, von wo aus durch die nicht dargestellte Dampfkapillare hindurchgetretene Laserstrahlung 17' auf einen strahlungsauskoppelnden Spiegel 24 gelangt, von dem aus die durch die Dampfkapillare 15 hindurchgetretene Laserstrahlung 17' auf ein Meßinstrument 39 ausgekoppelt wird. Dem Meßergebnis entsprechend kann die Steuerung der Position des Schweißkopfes für die Laserstrahlung 17 mit einer schnellen Prozeßregelung so erfolgen, daß die hindurchtretende Laserstrahlung stets maximal ist.

Die Auskoppelung der durch die Dampfkapillare 15 hindurchtretenden Strahlung 17' aus dem Strahlengang ist erforderlich, damit dem Werkstück 23 die Strahlung des zweiten Schweißstrahls mit Hilfe der Spiegel 24, 35 der unteren Optik 34 zugeführt werden kann. Als auskoppelnder Spiegel 24 kommt beispielsweise ein Scraper-Spiegel, ein Loch-Spiegel oder ein teildurchlässiges Fenster in Frage. Dargestellt ist ein Beugungsspiegel, welcher in der in der deutschen Patentanmeldung DE 40 06 622 A1 beschriebenen Weise in der Lage ist, Strahlungsanteile vorbestimmter Frequenz auszukop-

peln, ohne die Reflexion der der Schweißstelle 12 zuzuführenden Laserstrahlung zu beeinträchtigen. Ein solcher Beugungsspiegel 24 ist insbesondere dann von Vorteil, wenn eine Strahlung 18 anderer Wellenlänge in den Laserstrahlengang eingekoppelt wird. Insbesondere für diesen Fall ist der Spiegel 24' als Beugungsgitterspiegel dargestellt, der unter dem Winkel  $\phi$  eingestrahelte Strahlung 18 in den Laserstrahlengang einkoppelt, derer die Dampfkapillare 15 durchdringender Anteil 18' von dem auskoppelnden Spiegel 24 auf die Meßeinrichtung 39 unter demselben Winkel  $\phi$  gelenkt wird.

Fig. 9 zeigt die Laseroptiken 33, 34 der Fig. 8 im Hinblick auf Ihre Möglichkeiten, den Längsversatz  $a$  und den Querversatz  $b$  gemäß der Fig. 4 zu beeinflussen. Die Beeinflussung des Querversatzes  $b$  erfolgt in einfacher Weise dadurch, daß der Spiegel 35 der Optik 33 in seiner Entfernung zum Spiegel 24' verstellt wird. Die Größe und die Richtung der Verstellung  $\beta$  entsprechen exakt der Richtung und der Größe des Versatzes  $b$ . Wird der Spiegel 24' um die Mittelachse der Strahlung 17 um den Wert  $\alpha$  verstellt, so wird dadurch nur der Längsversatz  $a$  beeinflusst, wenn der Spiegel 35 nicht verstellt wird. Ein Verkippen des Spiegels 35 um den Betrag  $\theta$  ergibt ein Verschwenken des Schweißstrahls 10 um den Winkel  $\Theta$ , vgl. Fig. 5.

Fig. 10 zeigt etwas abweichend ausgebildete Strahloptiken 33', 34', die einen weiteren Spiegel 36 aufweisen, der mit einem unverkippbaren Spiegel 35 zusammenwirkt. Der Spiegel 36 kann vertikal zur Werkstückaußenfläche 13 verstellt werden, so daß sich der auf die Schweißstelle 12 treffende Schweißstrahl 10 infolge der konkaven Ausbildung der reflektierenden Fläche des Spiegels 36 in der Darstellungsebene schrägstellt, also im Sinne einer Erzeugung eines Winkel  $\Theta$ .

Fig. 11 erläutert das Schweißen eines Doppel-T-Profiles als Werkstück 23 mit vier Schweißstrahlen 10, 11, 10', 11'. Die Schweißstrahlen 10, 11 dienen dem Verschweißen des oberen Gurtes 28 mit dem oberen Ende des vertikal angeordneten Steges 27, während die Schweißstrahlen 10', 11' den unteren Gurt 28 mit dem unteren Ende des Steges 27 verschweißen. Sämtliche vier Schweißstrahlen 10, 11, 10', 11' sind etwa horizontal angeordnet. Alle Schweißstellen sind so angeordnet, daß Zusatzwerkstoff nicht infolge Schwerkrafteinfluß durch den Nahtbereich hindurchfließen kann, welche Gefahr bestünde, wenn das Doppel-T-Profil oder ein anderer Stoß mit gegenüber Fig. 11 um  $90^\circ$  gedrehter Anordnung geschweißt würde.

Fig. 12 erläutert das Vorheizen eines Steges 27 und eines Gurtes 28 mit einer beispielsweise induktiven Vorheizung, bevor die Naht 22 mit dem Strahl 10 hergestellt wird. Vorheizung kann auch mit einem Heizdraht oder durch Einsatz reaktiver Gase bewirkt werden.

Fig. 13 erläutert das Kühlen der Werkstücke 23 durch Rollen 29 oder Walzen 30. Diese Rollen bzw. Walzen 29, 30 sind an den Werkstücken bzw. an deren Stegen und Gurten positioniert und können strömungsgekühlt sein. Die Rollen bzw. Walzen 29, 30 können außer zur Kühlung noch der Positionierung des Steges 27 bzw. des Gurtes 28 dienen, insbesondere wenn diese erwärmt in Schweißlage geführt werden.

Fig. 14 zeigt das gleichzeitige Verschweißen eines Gurtes 28 mit einem Steg 27 und erläutert auf der linken Seite der Schweißnaht 22 die Gefahr der Tropfenbildung und infolgedessen einer unsymmetrischen Nahtausbildung. Um dem zu begegnen, ist eine Düse 40 vorgesehen, mit der Gas 31 auf den Schweißbereich 12 geblasen wird. Dieses Gas wirkt als Stützgas, hält also

die Schmelze im Schweißbereich 12.

Fig. 15 zeigt die schematische Anordnung einer Düse 41, die die Laserstrahlung 10 umgibt und der Zuleitung von Gas dient. Dieses Gas dient der Beeinflussung des Plasmas 42, welches sich infolge der Einwirkung der Laserstrahlung des Strahls 10 auf der Werkstückaußenfläche 13 des Werkstücks 23 bildet. Des weiteren ist in Fig. 15 die Zuführung von Zusatzwerkstoff 25 dargestellt, welcher als Draht ausgebildet ist. Der Zusatzwerkstoff ragt bis in die Schweißstelle 12 hinein, wo er spätestens aufgeschmolzen wird. Des weiteren ist eine kurz vor der Schweißstelle 12 mündende, unter einem Winkel angeordnete Düse 43 vorgesehen, mit der ein weiteres Gas in den Schweißbereich 12 geblasen wird. Dieses Gas ist z. B. Argon. Infolgedessen bildet sich als Plasma ein Argonplasma, welches sich auf der Werkstückaußenfläche 13 in Richtung seiner Strömung ausbreitet. Infolgedessen wird das Argonplasma auch auf den Zusatzwerkstoff 25 geblasen und schmilzt diesen auf. Infolge der Verteilung des Argonplasmas auf der Werkstückaußenfläche 13 ergibt sich eine Vergrößerung der Aufschmelzung des Werkstücks 23 im Oberflächenbereich und daher eine kelchförmige Nahtausbildung, welche in Fig. 15 T-förmig dargestellt ist. Es ist dies eine Querschnittsdarstellung, wobei sich versteht, daß sich die Schweißnaht in der Richtung  $x_s$  erstreckt. Demgemäß wird das Argongas in Bezug auf diese Schweißrichtung  $x_s$  von vorn bzw. von vor der Naht auf den Schweißbereich 12 geblasen, während der Zusatzwerkstoff 25 von hinten zugeführt wird.

Fig. 16 zeigt die verbesserte Ausbildung einer Schweißnaht 22 zwischen einem Steg 27 und einem Gurt 28 bei Anwendung von Zusatzwerkstoff, der mit Hilfe eines Gases aufgeschmolzen wird. Es ergibt sich ein abgerundeter, schwingfestigkeitsmäßig sehr günstiger Nahtrandbereich 22' mit verringerter Gefahr von Einbrandkerben.

Die Fig. 17a, b erläutern insbesondere das Verschweißen dicker Stege 27 und Gurte 28 bzw. Werkstücke mit dickem Schweißspalt 44. Der Schweißspalt 44 muß mit Zusatzwerkstoff 25 aufgefüllt werden, der auch in die Spaltmitte gelangen muß. Hierzu ist vorgesehen, daß die Düse 43 Argongas in die Spaltmitte bläst, wo sich infolge der Einwirkung der Laserstrahlung des Laserstrahls 10 ein Argonplasma 42 ausbildet. Dieses schmilzt die Wände des Spalts an und den Zusatzwerkstoff 25 auf. In diesem Falle erfolgen die Zufuhr des Argongases und die Zufuhr des Zusatzwerkstoffs jeweils von vor der Naht 22, wobei das außerdem angewendete Helium od. dgl. dafür sorgt, daß eine zu starke Absorption der Laserstrahlung oberhalb des Werkstücks 23 vermieden wird. Wie auch im Falle der Fig. 15 wird dadurch die Gefahr der Bildung von Einbrandkerben verringert. Das Verfahren wird insbesondere beim Mehrlagenschweißen eingesetzt.

Zur Durchführung des Schweißverfahrens und zur Überwachung des Schweißergebnisses ist es erforderlich, sich etwa ausbildende Fehler zu ermitteln. Hierzu kann bei der Prozeßüberwachung Ultraschall eingesetzt werden. Fig. 18 zeigt einen schematisch dargestellten Sensor 45 für Ultraschall, mit dem etwa vorhandene Poren 39 ermittelt werden können. Die Ermittlung erfolgt im Schweißnahtbereich hinter dem jeweiligen Schweißbereich 12 so dicht, daß eine on-line-Prozeßüberwachung möglich ist, die einen Qualitätsabfall sofort detektiert. Mit Hilfe des Sensors 45 kann aber entsprechend den Fig. 19 bis 20 auch die Ausbildung bzw. die Lage der Schweißnaht 22 detektiert werden. Es ist

beispielsweise bei gestoßen angeordneten Steg/Gurt-Bauteilen möglich zu ermitteln, ob die Naht 22 ordnungsgemäß hergestellt wird, oder etwa zu tief im Steg 27 liegt, vgl. Fig. 20, oder zu tief im Gurt 28 liegt, vgl. Fig. 21. Je nachdem kann die Strahlage beeinflusst werden, beispielsweise durch Verkippen der Spiegel 35, 36 der Fig. 8 bis 10.

Anstelle eines Ultraschallsensors 45 können auch andere akustische oder optische Sensoren eingesetzt werden. Fig. 22 zeigt die Verwendung eines optischen Sensors 46 zur Überwachung der Naht 22 einer Steg/Gurt-Verbindung, an der sich Einbrandkerben 48 ausbilden. Derartige schwingfestigkeitsmindernde Einbrandkerben 48 müssen vermieden werden. Ihre Ermittlung dicht hinter der Schweißstelle 12 ermöglicht es, eine hinreichende Prozeßregelung durchzuführen, indem beispielsweise mehr Zusatzwerkstoff 25 zugeführt wird.

Fig. 23 zeigt, daß die Wärmestrahlung der Schweißnaht 22 bzw. des verschweißten Werkstücks 23 für die Prozeßüberwachung eingesetzt wird. Temperatursensoren 47 erfassen die örtliche Wärmeverteilung, aus der auch auf die Ausbildung der Schweißnaht geschlossen werden kann, so daß eine dementsprechende Regelung bzw. Steuerung des Schweißprozesses ermöglicht wird. Mit Hilfe der Temperaturüberwachung der Oberfläche der Naht und/oder der Nahtumgebung und/oder der Oberfläche des Gurtes wird aber auch die Abkühlgeschwindigkeit überwacht.

Um zu erreichen, daß die Schweißnaht 22 hinter dem Schweißbereich 12 zuverlässig und in jeweils fester Relation zum zugehörigen Laserstrahl überwacht wird, ist eine feste Zuordnung der Meßinstrumente zum Schweißkopf 16 vorgesehen. Fig. 24 zeigt beispielhaft in schematischer Darstellung einen solchen Schweißkopf, der die in den Fig. 8 bis 10 dargestellte Laseroptik enthält, z. B. 33, welche den Laserstrahl 10 auf den Schweißbereich 12 fokussiert. Zugleich ist an dem Schweißkopf 16 eine Sensorik 19 vorhanden, mit der der Schweißnahtbereich von dem optischen Sensor 46 überwacht wird. Auch der Ultraschallsensor 45 ist mit dem Schweißkopf 16 durch eine feste geometrische Zuordnung 20 mechanisch verbunden.

Vorstehend wurde beschrieben, daß die Schweißstrahlen Laserstrahlen sind. Es können jedoch auch andere Hochenergiestrahlen eingesetzt werden, beispielsweise Elektronenstrahlen.

Fig. 25 zeigt zwei Strahlen 10, 11, also beispielsweise zwei dem Schweißen dienende Laserstrahlen, die auf eine Meßstelle 48 ausgerichtet sind. Die Meßstelle 48 fällt mit einer Bearbeitungsstelle des Werkstücks zusammen, also beispielsweise mit der Mitte zwischen den beiden Werkstückaußenflächen 13, 14. Es versteht sich jedoch, daß die Meßstelle auch außermittig angeordnet werden kann, wenn der Bearbeitungsvorgang dies erfordert oder wenn die Strahlen 10, 11 unterschiedlicher Leistung sind.

Um an dieser Meßstelle die radiale Intensitätsverteilung der beiden Strahlen 10, 11 zu ermitteln, ist ein keilförmiger Reflektor 49 vorhanden, dessen in einer Keilkante 49' zusammenstoßenden Keilflächen 49'' jeweils einen Anteil des Strahls 10 und des Strahls 11 entsprechend dem Strahlengang 50 im wesentlichen in dieselbe Richtung auf eine Meßeinrichtung 51 lenken. Diese Meßeinrichtung ist in ihren Grundzügen in der DE 35 32 047 C2 beschrieben. Wesentlich ist, daß ein Träger bzw. eine rotierende Nadelhalterung 52 für eine als Röhrchen ausgebildete Meßnadel 53 vorhanden ist, in welches der Reflektor 49 fest eingebaut ist. Der Trä-



- Leerseite -

ger 52 kann sich um seine Achs 52' drehen, so daß der Reflektor 49 radial durch beide Laserstrahlen 10, 11 bewegt werden kann. Dazu ist zweckmäßig, daß die Achse 52' im wesentlichen parallel zu den Strahlachsen ist. Die Strahlachsen brauchen jedoch nicht koaxial zu verlaufen. Wichtig ist, daß der Reflektor 49 aus beiden Strahlen 10, 11 während seines radialen Strahldurchtritts jeweils einen auswertbaren Teilstrahl ausblendet. Diese Teilstrahlen gelangen zwischen den Reflektorstreifen 54 der Aussteifungen 55 des Röhrchens 53 auf einen Umlenkspiegel 56, von dem aus sie durch eine Bohrung 57 in einen Detektor 58 gelangen. Die Meßnadel 53 ist mit ihren Aussteifungen 55 und einer Halterung 59 so verbunden, daß sie verdrehbar im Träger 52 befestigt werden kann. Die Aussteifungen 55 können zugleich der unverschränkten Zuordnung des Reflektors 49 und des Umlenkspiegels 56 dienen. Die aus Fig. 25 ersichtliche Schrägstellung des Röhrchens 53 bewirkt, daß der Laser und die Meßeinrichtung 51 strahlungsmäßig entkoppelt sind, daß also keine aus der Meßeinrichtung 51 herrührenden Reflexe zurück in den Laser gelangen.

Der Detektor 58 ist z. B. mit einem Pyrodetektor bestückt, mit denen die räumliche Anordnung der Intensitätszentren der Teilstrahlen der Strahlen 10, 11 erkannt werden kann. Durch entsprechende Veränderung der Lage der Strahlen 10, 11 unter Benutzung der Intensitätszentren gemäß Detektor 58 kann daher für die gewünschte Ausrichtung der Strahlen 10, 11 und deren Fokussierung gesorgt werden.

Nach dem Erfassen der radialen Intensitätsverteilung beider Laserstrahlen 10, 11 wird das zu bearbeitende Werkstück so angeordnet, daß die Bearbeitungsstelle relativ zur Meßstelle in gewünschter Weise angeordnet ist. Soll also ein Werkstück mit den beiden Laserstrahlen über seine Werkstückdicke jeweils zur Hälfte von jedem Laserstrahl bearbeitet werden, also beispielsweise geschweißt, so wird seine Mitte möglichst genau mit der Meßstelle 48 zur Deckung gebracht, was mit hinreichender Genauigkeit möglich ist, wenn man davon ausgeht, daß das Röhrchen 53 beispielsweise einen Durchmesser von 2 mm hat.

#### Patentansprüche

1. Schweißverfahren mit mehreren Hochenergie-Schweißstrahlen, insbesondere mit Laserstrahlen, bei dem die Schweißstrahlen (10, 11) gleichzeitig auf den Schweißbereich (12) einstrahlen, dadurch gekennzeichnet, daß die Schweißstrahlen (10, 11) beim Schweißen auf zwei einander gegenüberliegende Werkstückaußenflächen (13, 14) einstrahlen und die Werkstückdicke (d) des Schweißbereichs (12) jeweils anteilig aufschmelzen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung der Schweißstrahlen (10, 11) im Sinne der Bildung einer einzigen, zwischen den Werkstückaußenflächen durchgängigen Dampfkapillaren (15) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß beide Schweißstrahlen (10, 11) zur Erzielung eines geradlinigen Verlaufs der durchgängigen Dampfkapillaren (15) zwischen den Werkstückaußenflächen (13, 14) entgegen der Schweißrichtung ( $x_s$ ) geneigt auf den Schweißbereich (12) einstrahlen.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die

Schweißstrahlen (10, 11) zur Formung der Dampfkapillaren (15) örtlich und zeitlich aufeinander abgestimmt oszilliert und/oder moduliert werden.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Schweißstrahl (10 und/oder 11) mit einer schnellen Prozeßregelung für die Position seines Schweißkopfs (16) in Bezug auf die jeweilige Position der Dampfkapillaren (15) des anderen Schweißstrahls (11) gesteuert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung des Schweißstrahls (10) in Abhängigkeit von durch die Dampfkapillare (15) hindurchtretender Strahlung (17') und/oder in den Strahlengang eingekoppelter Strahlung (18) anderer Wellenlänge erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Steuerung des Schweißstrahls (10) nur dann erfolgt, wenn die Leistung der durch die Dampfkapillare (15) hindurchtretenden Strahlung (17', 18) einen Bereich zwischen zwei vorgegebenen anwendungsspezifischen Schwellwerten verläßt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Unterschreiten eines unteren Schwellwertes zunächst die Position des einen Schweißkopfs (16) gesteuert und dann bedarfsweise die Strahlleistung eines Schweißstrahls (10) oder beider Schweißstrahlen (10, 11) erhöht wird.

9. Verfahren nach Anspruch 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Überschreiten des oberen Schwellwertes die Schweißgeschwindigkeit erhöht und/oder die Strahlleistung eines Schweißstrahls (10) oder beider Schweißstrahlen (10, 11) erniedrigt wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchgängigkeit der Dampfkapillaren (15) und/oder deren Position im Schweißbereich (12) und/oder Unregelmäßigkeiten der Schmelzbewegungen mittels Plasmafluktuationen überwacht werden.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Detektion der durch die Dampfkapillare (15) hindurchtretenden Strahlung (17, 18) ein strahlungsauskoppelnder Spiegel (24) verwendet wird.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine on-line-Prozeßüberwachung mit optischen und/oder akustischen Sensoren (45, 46, 47) erfolgt, die die Schweißnaht (22) hinter dem jeweiligen Schweißbereich (12) erfassen.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Position der Schweißstrahlen (10, 11) in Abhängigkeit von der Ausbildung der Schweißnaht (22) und/oder deren Lage im verschweißten Werkstück (23) gesteuert wird.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß Ultraschall und/oder eine Messung der Wärmestrahlung der Schweißnaht (22) und/oder des verschweißten Werkstücks (23) für die Prozeßüberwachung eingesetzt wird.

15. Verfahren, insbesondere nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß beim Schweißen mit Laserstrahlung,

die im wesentlichen quer zur Schweißrichtung ( $x_s$ ) auf den Schweißbereich (12) der Werkstücke (23) gerichtet und gegen eine Werkstückaußenfläche (13, 14) geneigt ist, polarisierte Laserstrahlung (17') verwendet wird, deren Polarisationsrichtung (p) mit der Schweißrichtung ( $x_s$ ) einen Winkel von etwa 45° einschließt.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß beide Schweißstrahlen (10, 11) im Schweißbereich (12) gleich ausgerichteten elliptischen Querschnitt aufweisen.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Schweißen von T- und I-Stößen sowie von Überlapp- und Bördelnähten eingesetzt wird.

18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (23) an vorbestimmten Stellen vorgeheizt und/oder gekühlt werden.

19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der herzustellenden Schweißnaht (22) Zusatzwerkstoff (25) zugeführt wird und/oder daß Werkstückteile (23) mit bartbehafteten Stoßkanten (26) zum Schweißen verwendet werden.

20. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß T-Stöße mit senkrechtem Steg (27) und waagrechtem Gurt (28) bei etwa horizontal angeordneten Schweißstrahlen (10, 11, 10', 11') geschweißt werden.

21. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung der Werkstücke (23) durch steg- und/oder gurtpositionierende, strömungsgekühlte Rollen (29) oder Walzen (30) erfolgt.

22. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche insbesondere 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß bei tropfgefährdeten Schweißbereichen (12) ein Stützgas (31) von unten auf den Schweißbereich (12) geblasen wird.

23. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Schweißbereich (12) coaxial zum Schweißstrahl (10, 11) mit Helium oder mit einem Gasgemisch mit Helium und/oder Wasserstoff beaufschlagt wird, und daß im Winkel zum Schweißstrahl Argon auf den Schweißbereich (12) geblasen wird.

24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Argongas von vor der Naht (22) auf den Schweißbereich (12) und bedarfsweise auf von hinten zugeführten Zusatzwerkstoff (25) geblasen wird.

25. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Argongas von vor der Naht (22) in den Schweißspalt (44) und bedarfsweise auf in den Spalt (44) eingebrachten Zusatzwerkstoff (25) geblasen und dort von dem laserstrahl-coaxialen Gas (32) gehalten wird.

26. Verfahren insbesondere nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlen (10, 11) vor einem Bearbeitungsvorgang auf eine Meßstelle (48) ausgerichtet werden, an der nach einem Meßvorgang eine zwischen den Werkstückaußenflächen (13, 14) gelegene Bearbeitungsstelle des Werkstücks angeordnet wird, und daß an dieser Meßstelle (48) die radia-

le Intensitätsverteilung der beiden Strahlen (10, 11) ermittelt wird.

27. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß zwei den einander gegenüberliegenden Werkstückaußenflächen (13, 14) benachbarte Schweißstrahloptiken (33, 33', 34, 34') vorhanden sind, die jeweils einen den Längsversatz (a) und einen den Querversatz (b) eines der Schweißstrahlen (10, 11) beeinflussenden Spiegel (24, 24', 35) aufweisen.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Strahloptik (33', 34') einen Spiegel (35, 36) aufweist, mit dem der Schweißstrahl (10, 11) im wesentlichen quer zur Schweißrichtung ( $x_s$ ) gerichtet und gegen eine Werkstückaußenfläche (13, 14) geneigt auf den Schweißbereich (12) zu richten ist.

29. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß ein keilförmiger, je einen Teil beider Strahlen (10, 11) ausblendender Reflektor (49) im Bereich der Meßstelle (48) beweglich angeordnet ist.

---

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

---

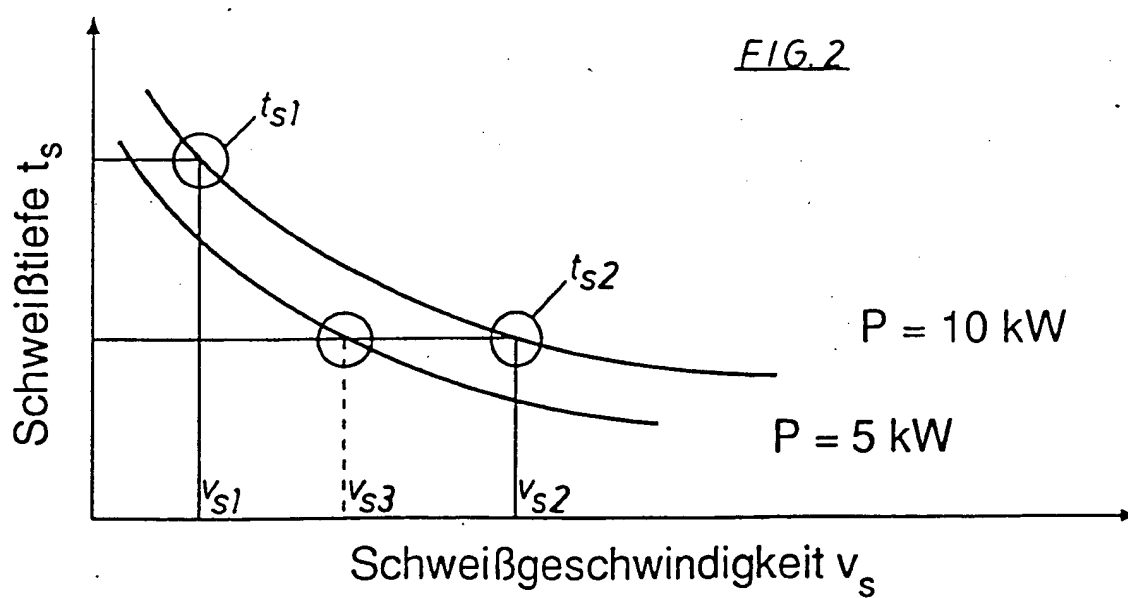
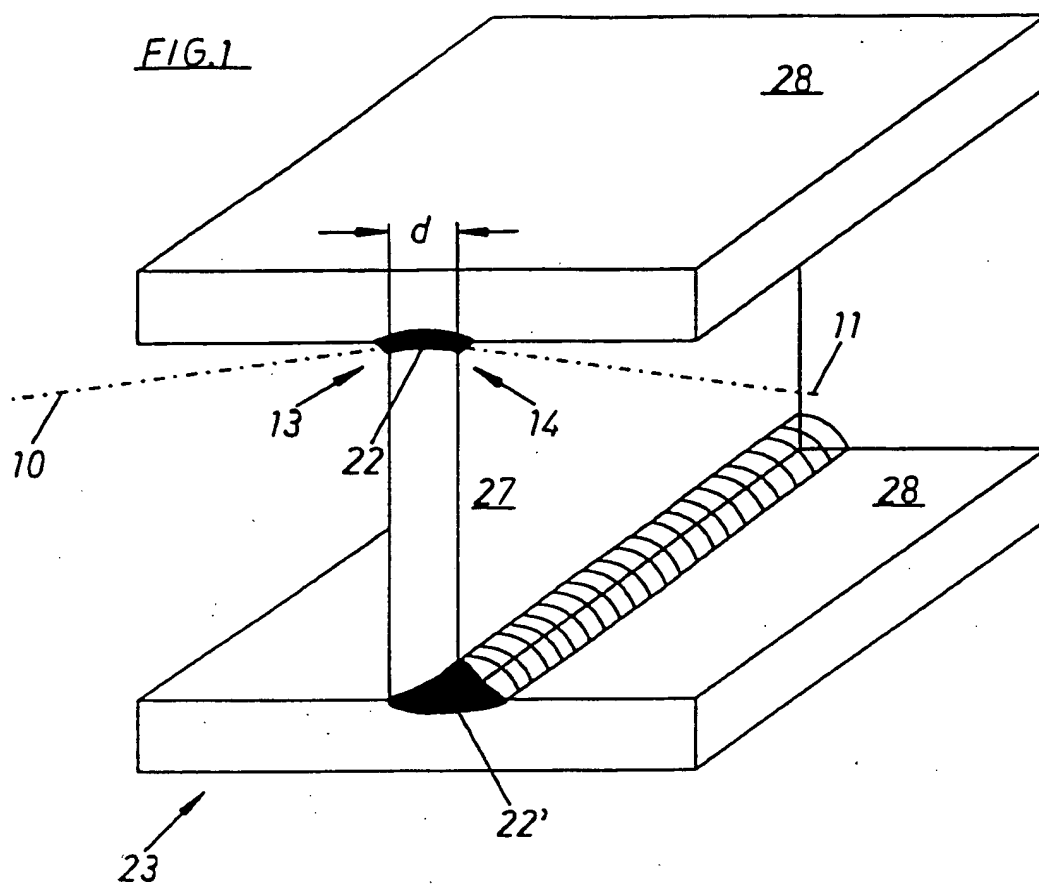


FIG. 3a

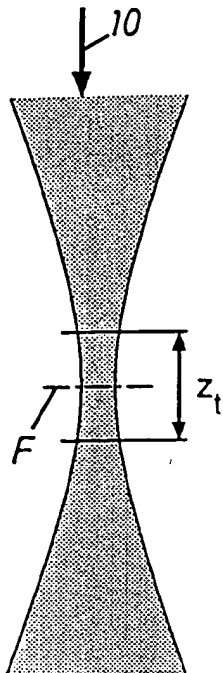


FIG. 3b

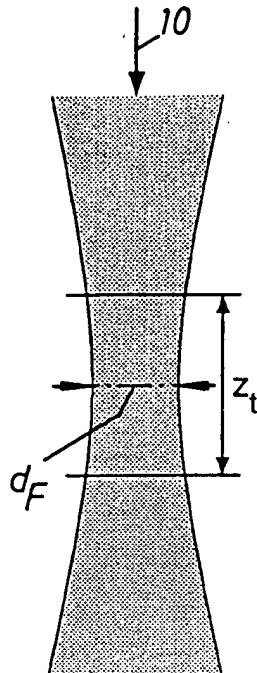


FIG. 3c

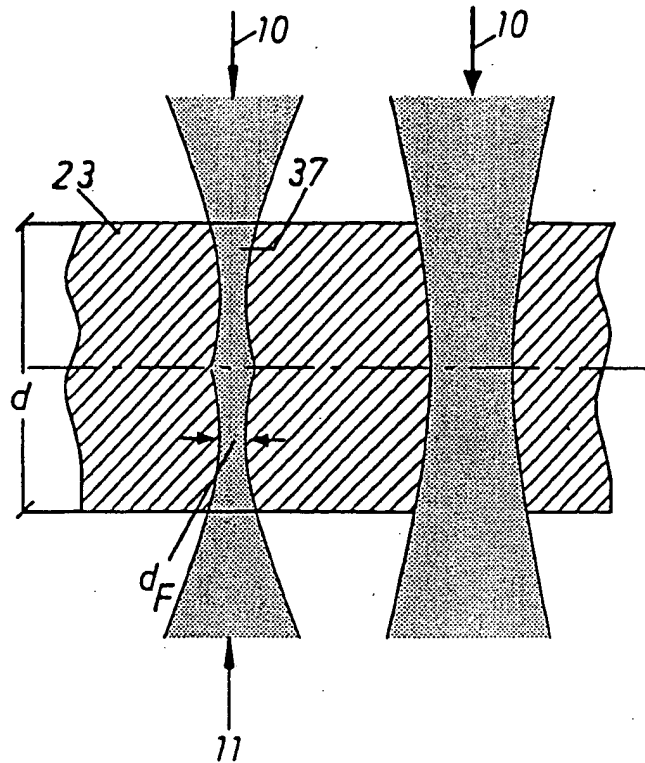


FIG. 3d

FIG. 4

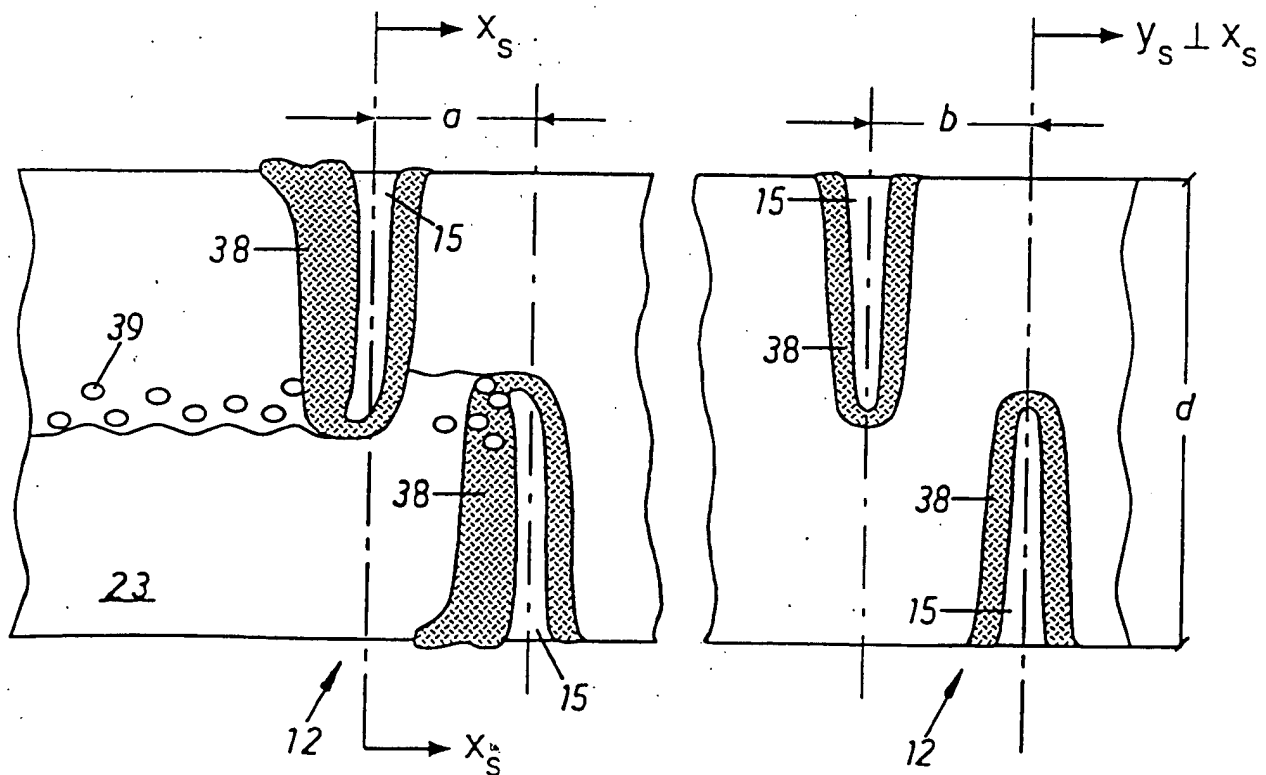
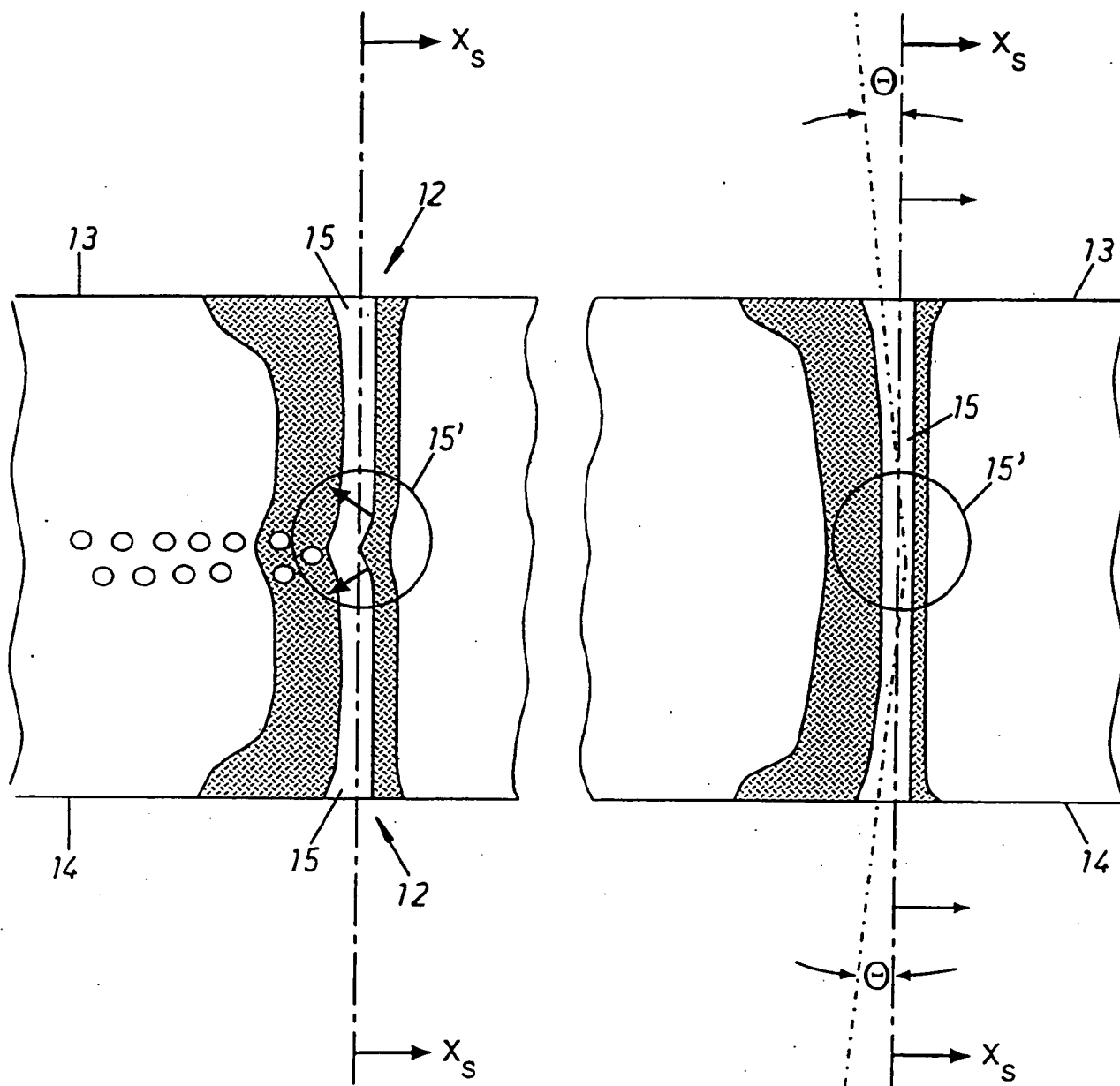
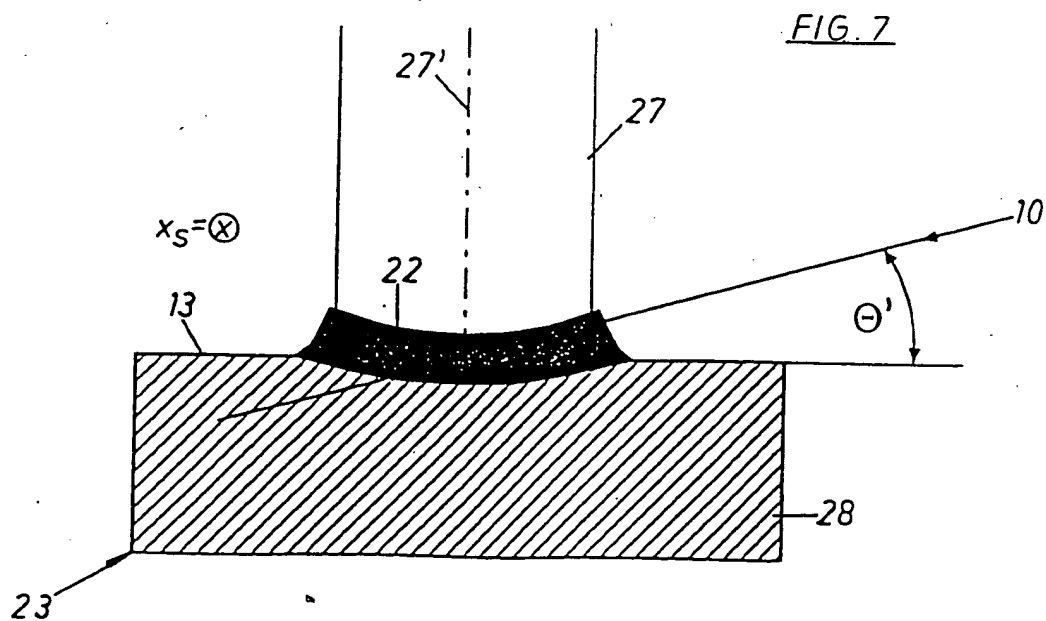
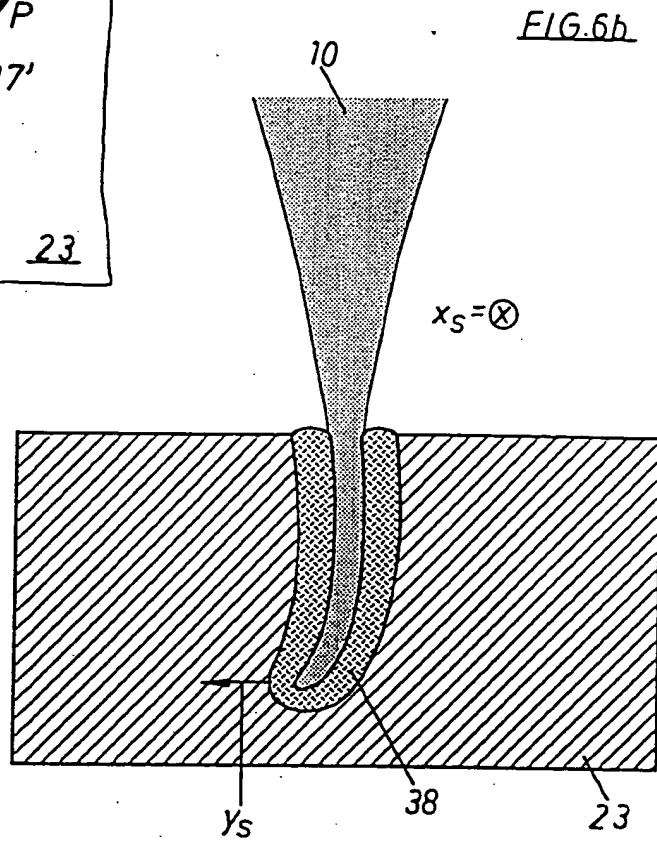
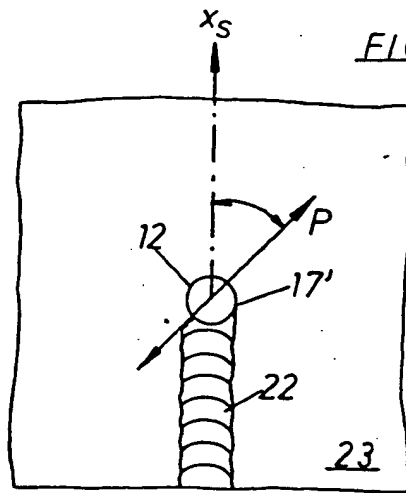


FIG. 5





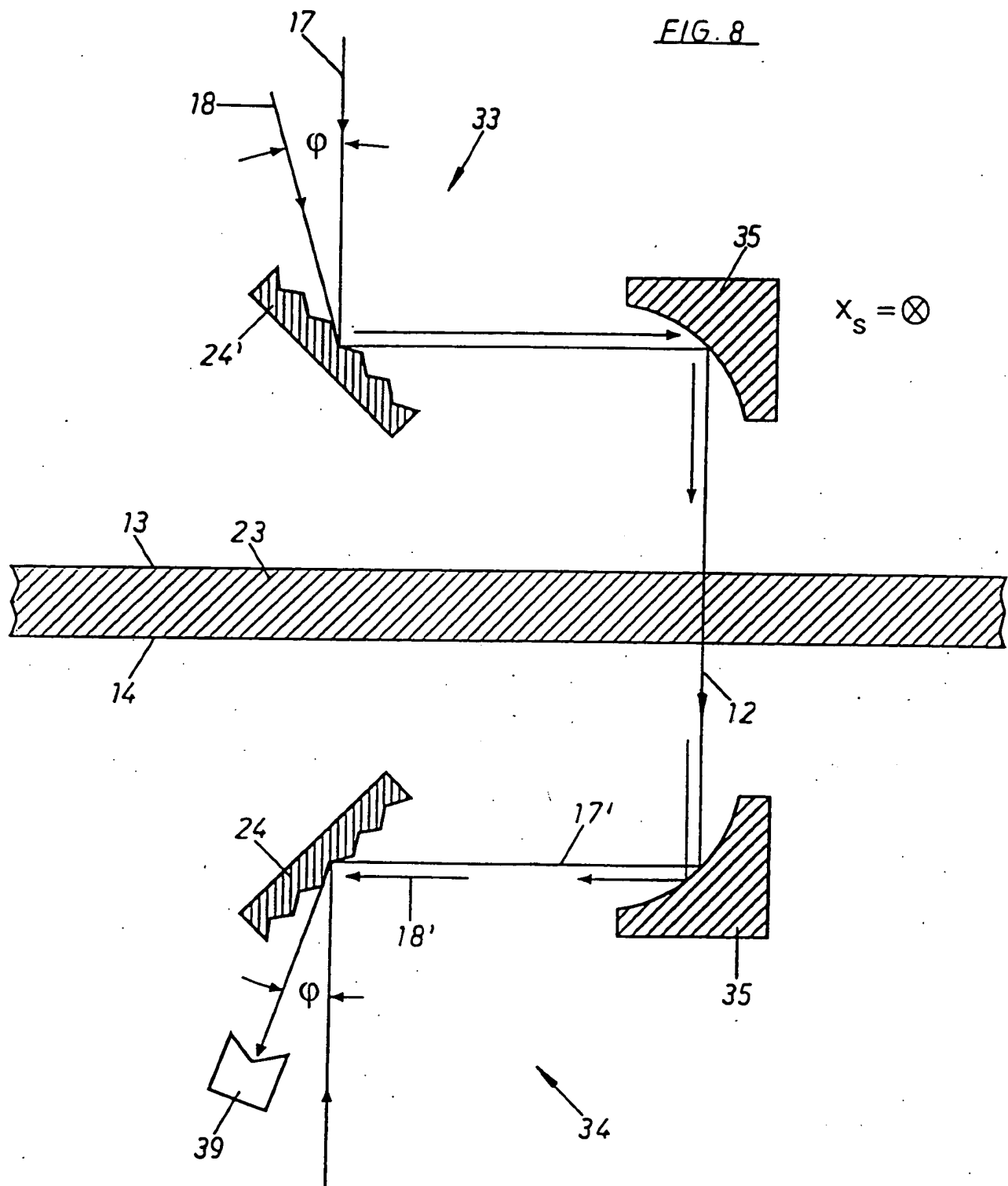




FIG. 9

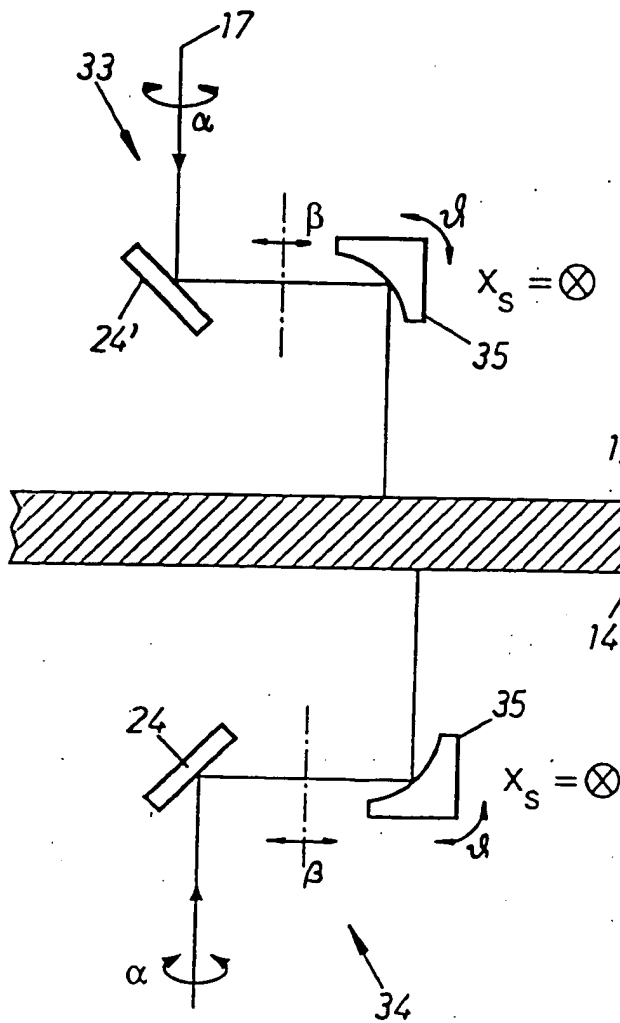
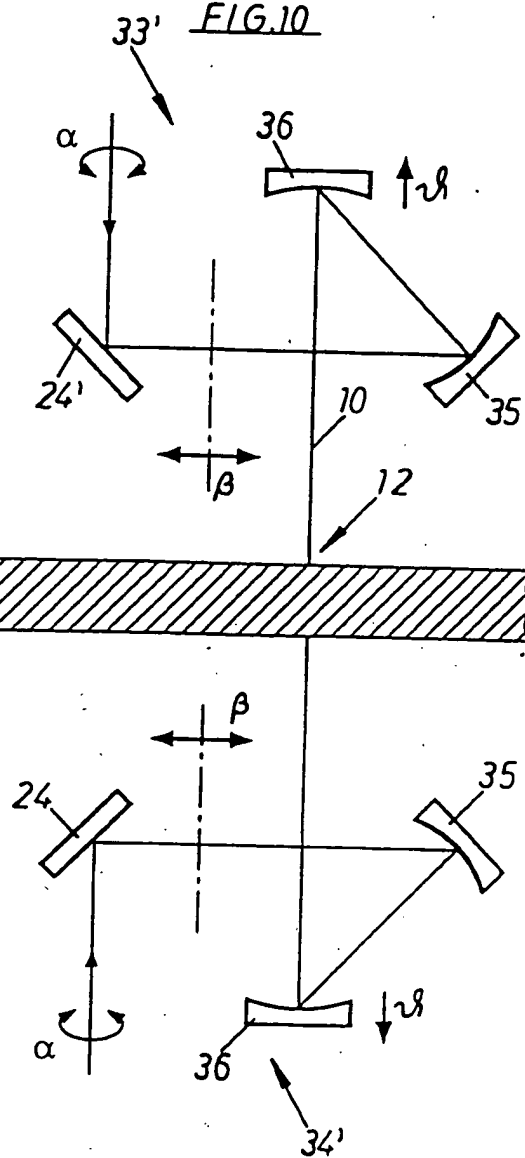


FIG. 10



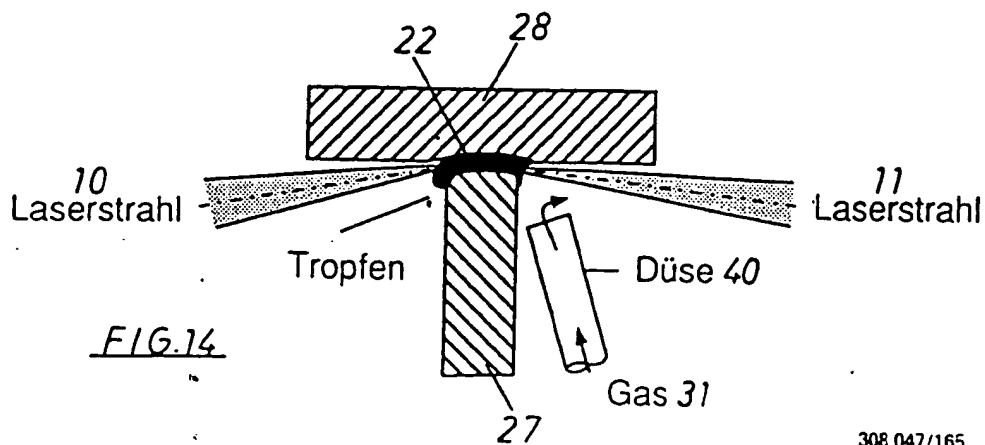
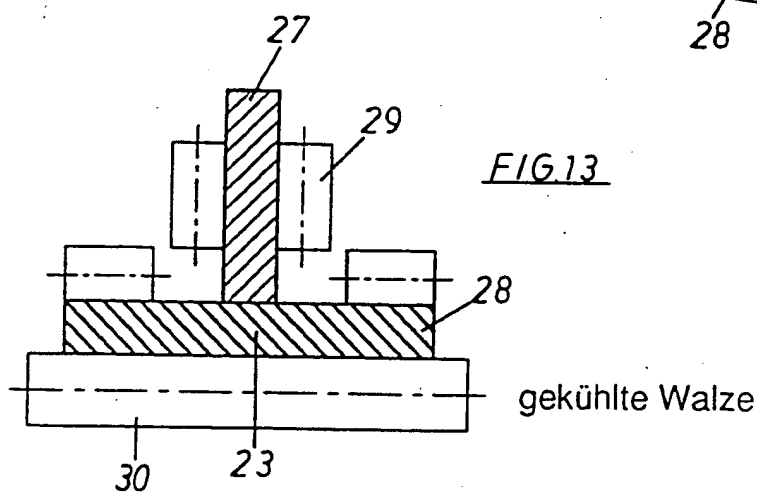
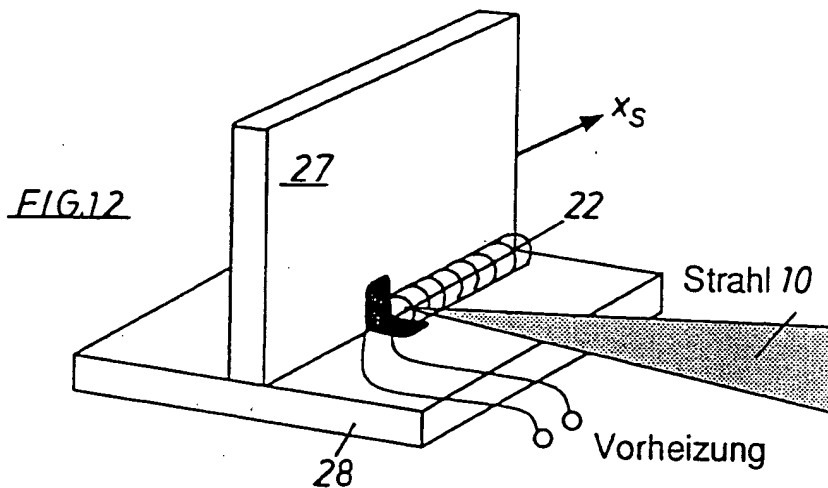
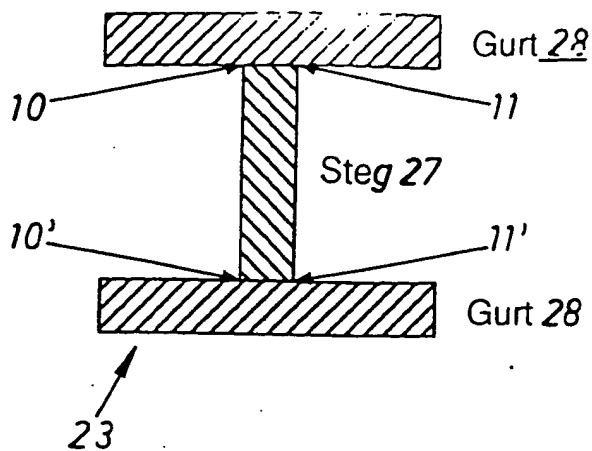


FIG.15

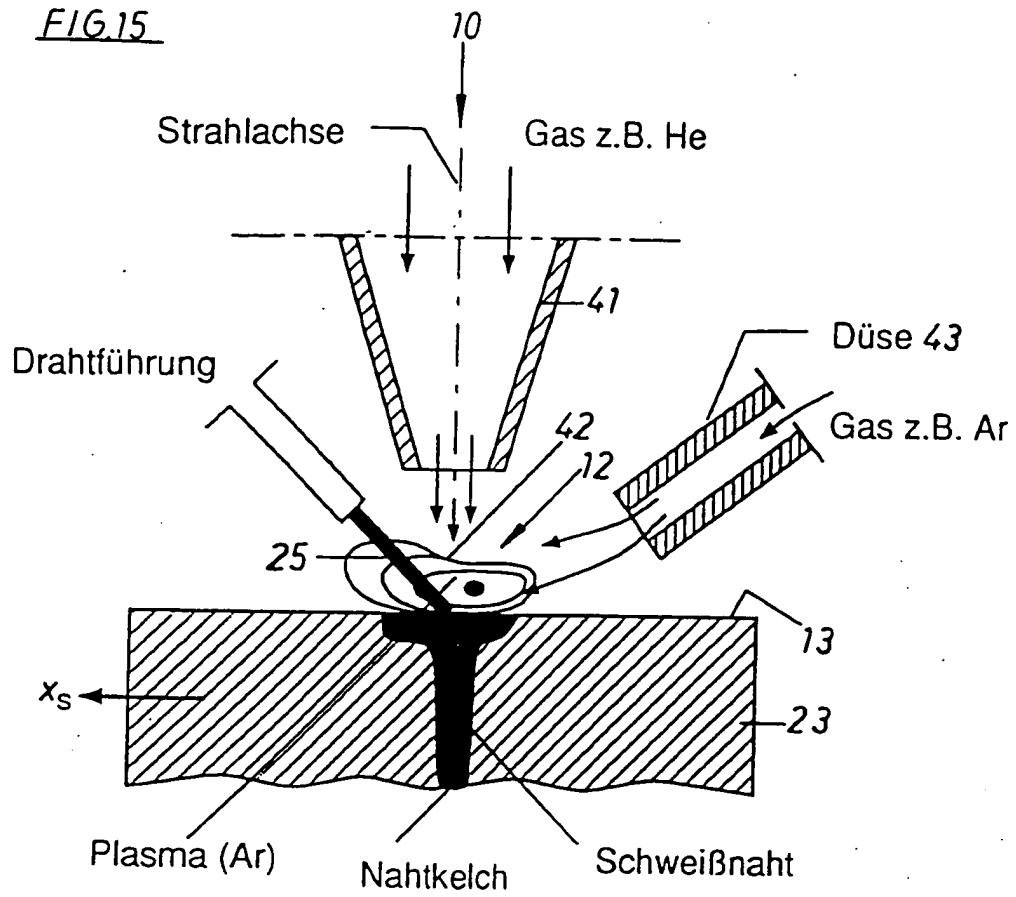


FIG.16

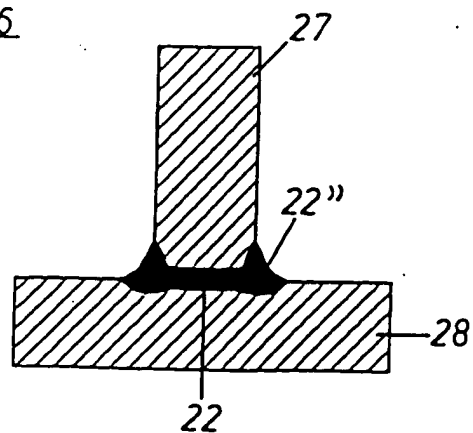


FIG.17a

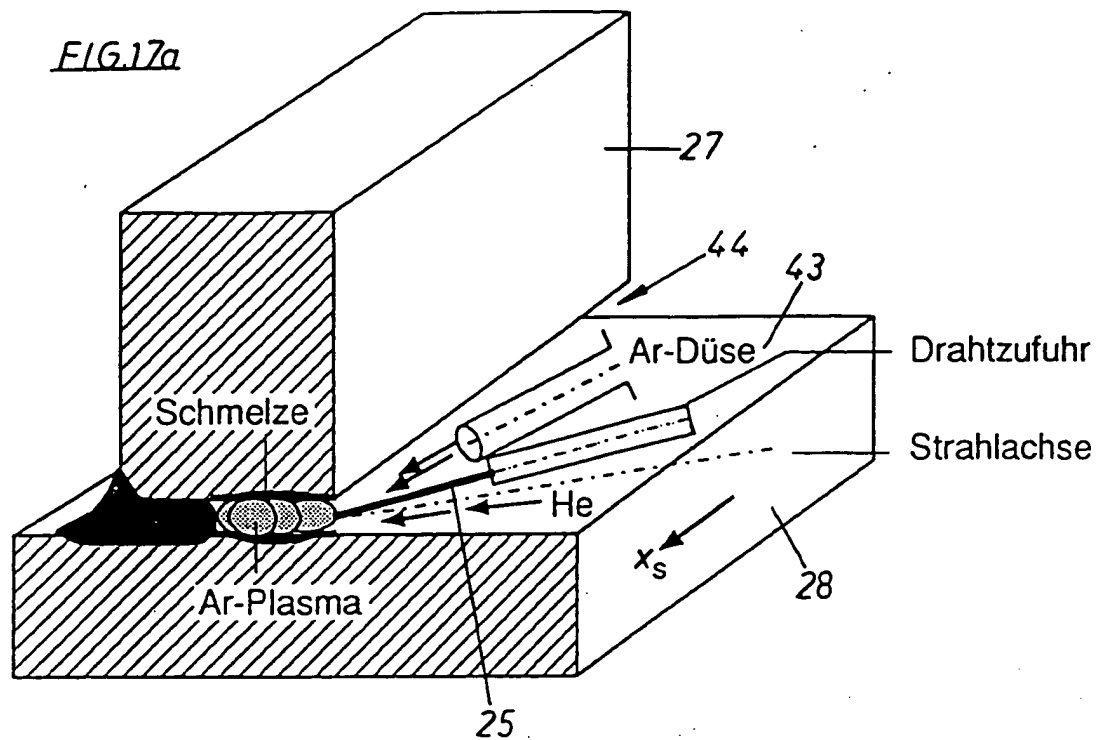
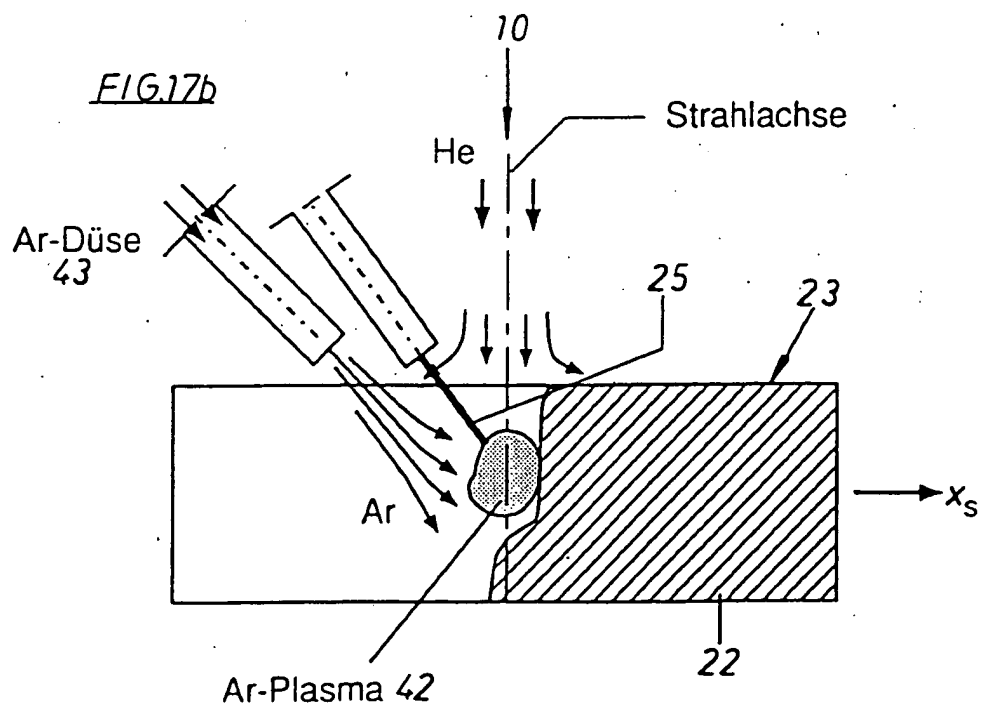


FIG.17b



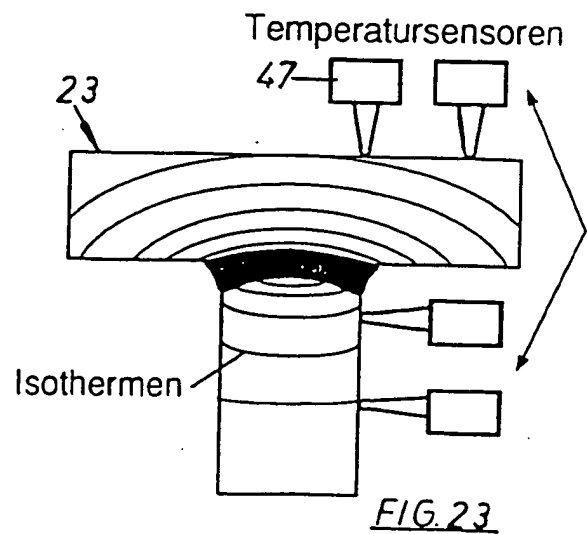
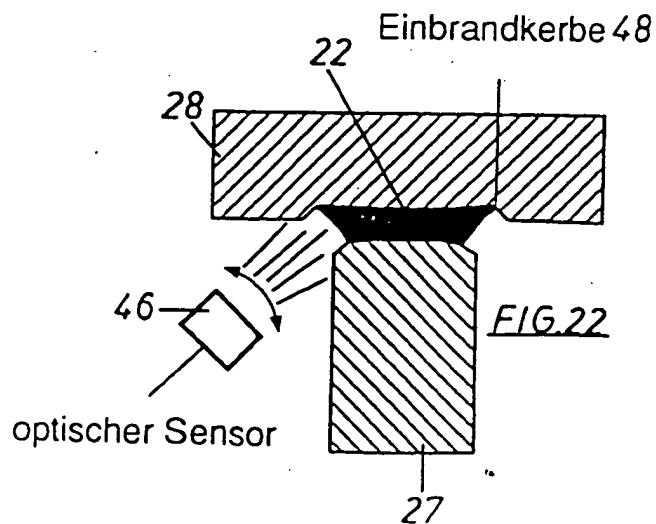
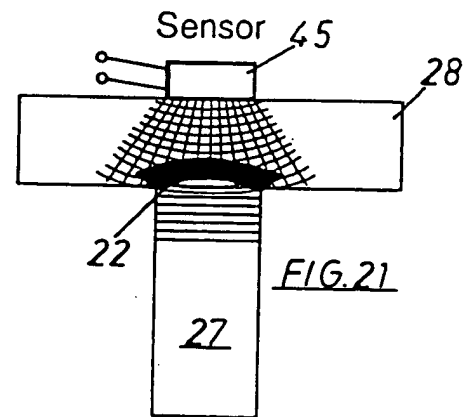
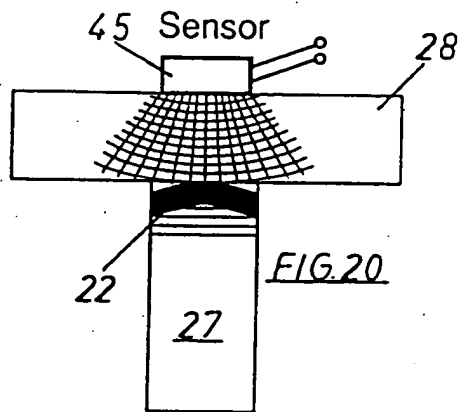
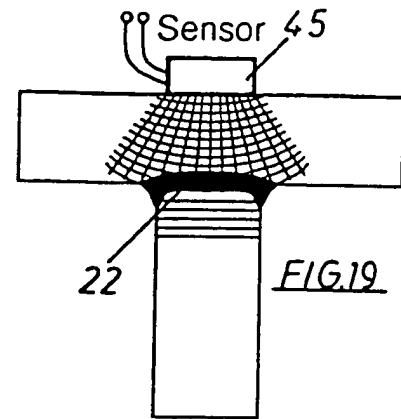
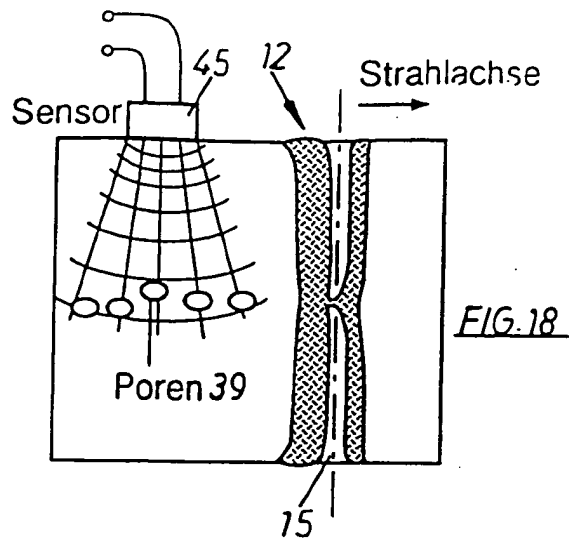


FIG. 24

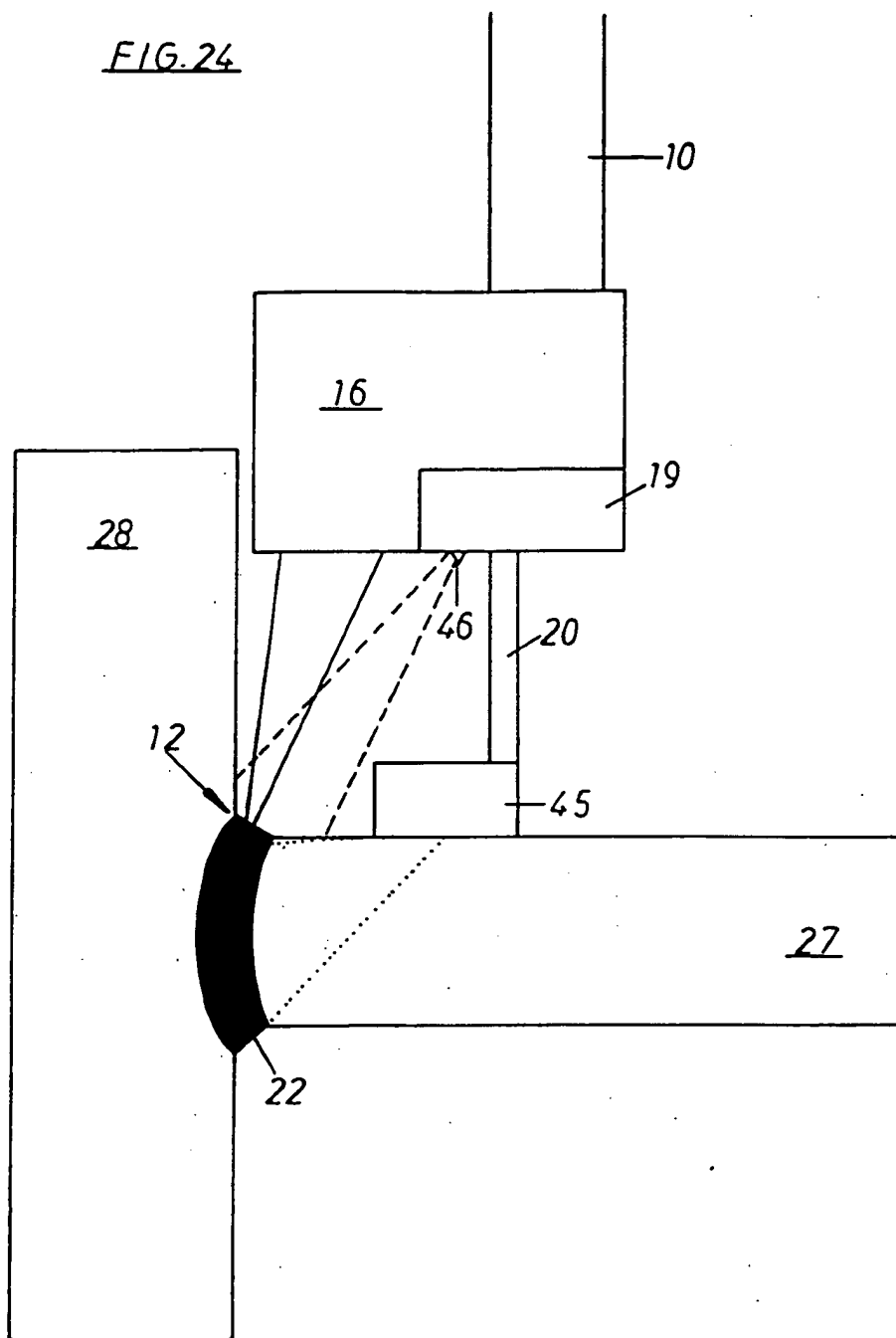
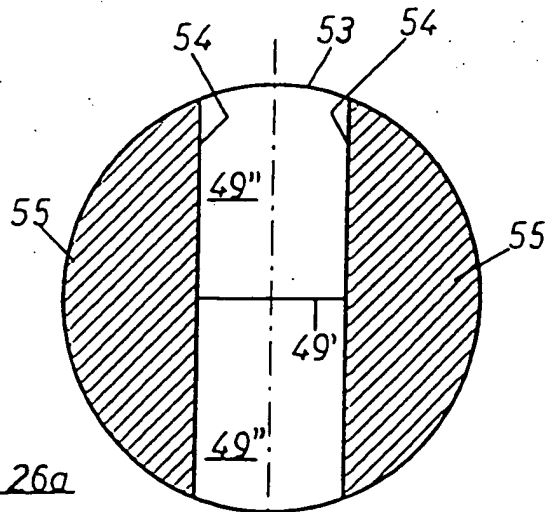
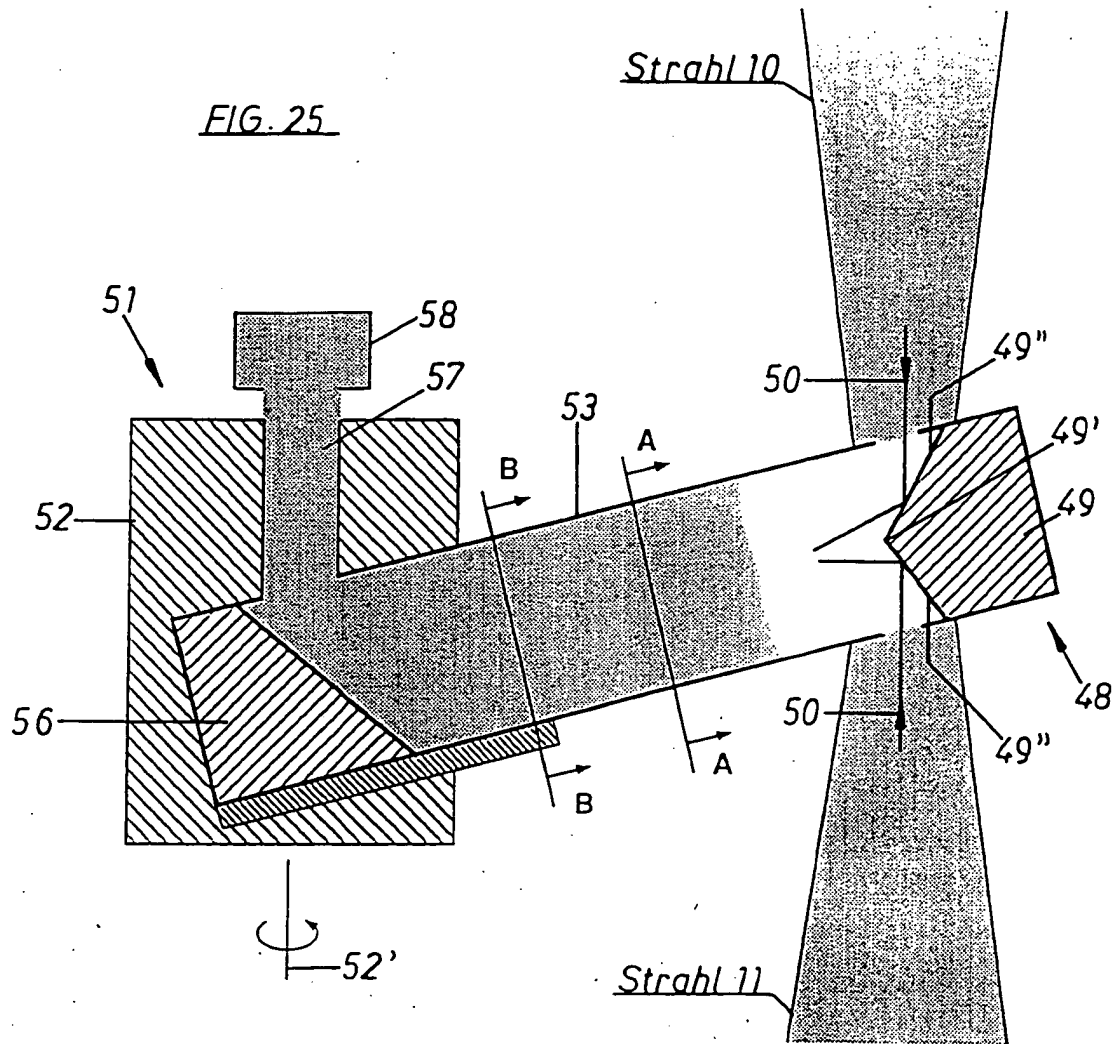


FIG. 25



Schnitt A-A

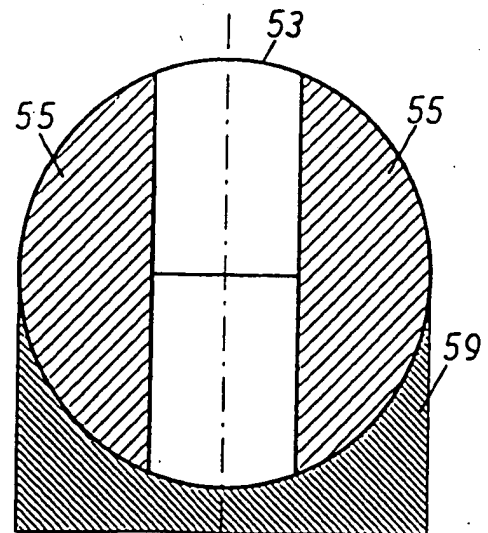


FIG. 26b Schnitt B-B

FIG. 24

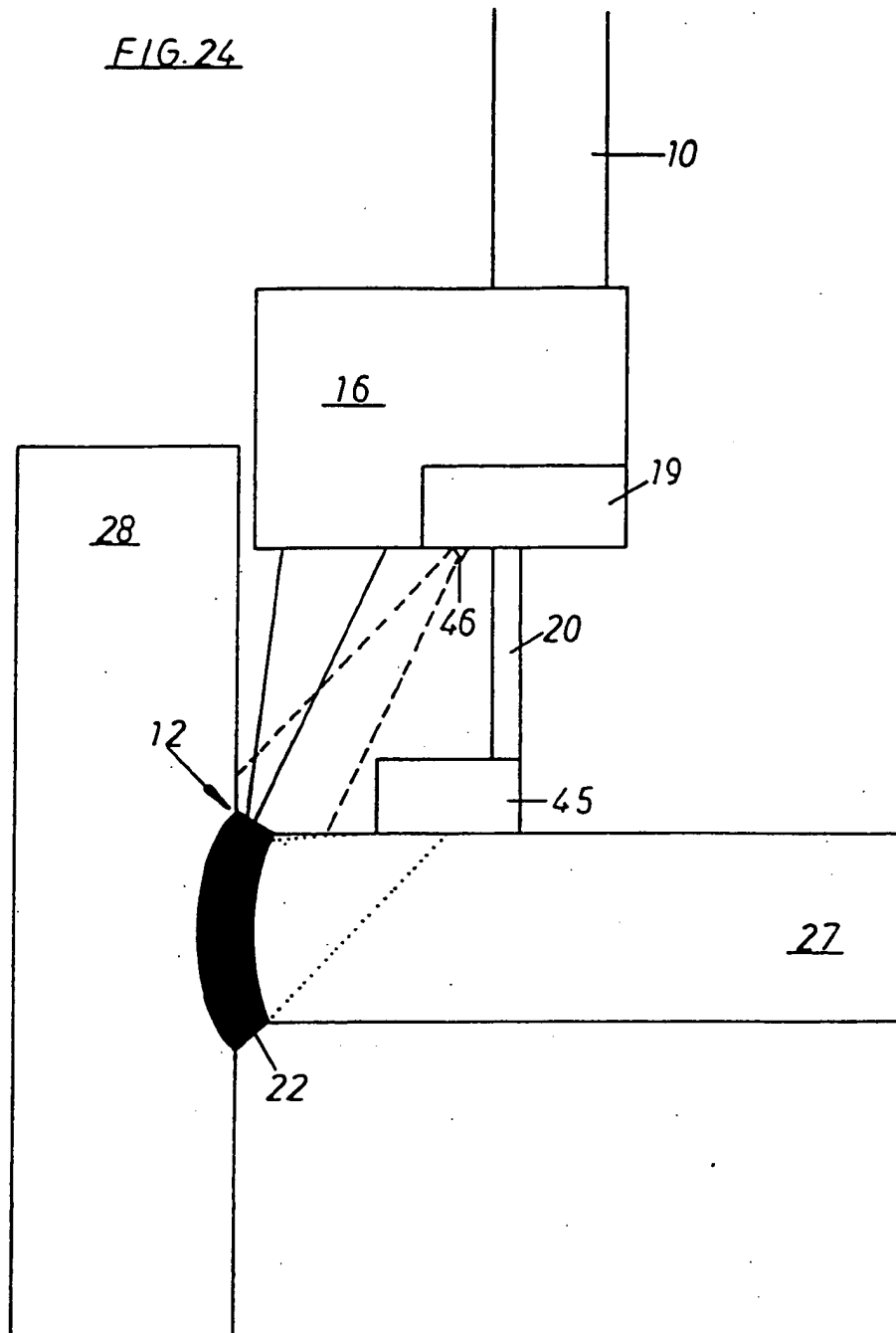




FIG. 25

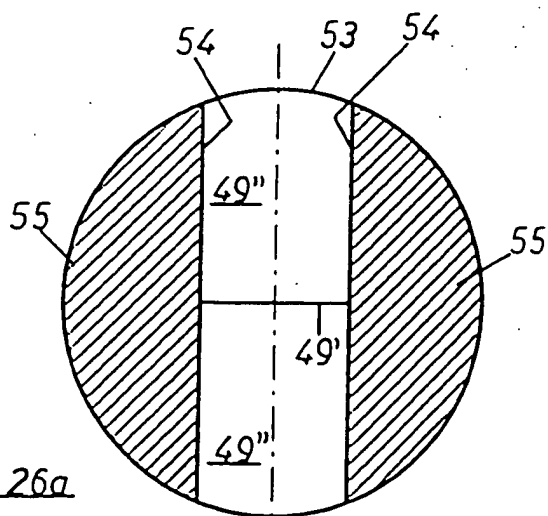
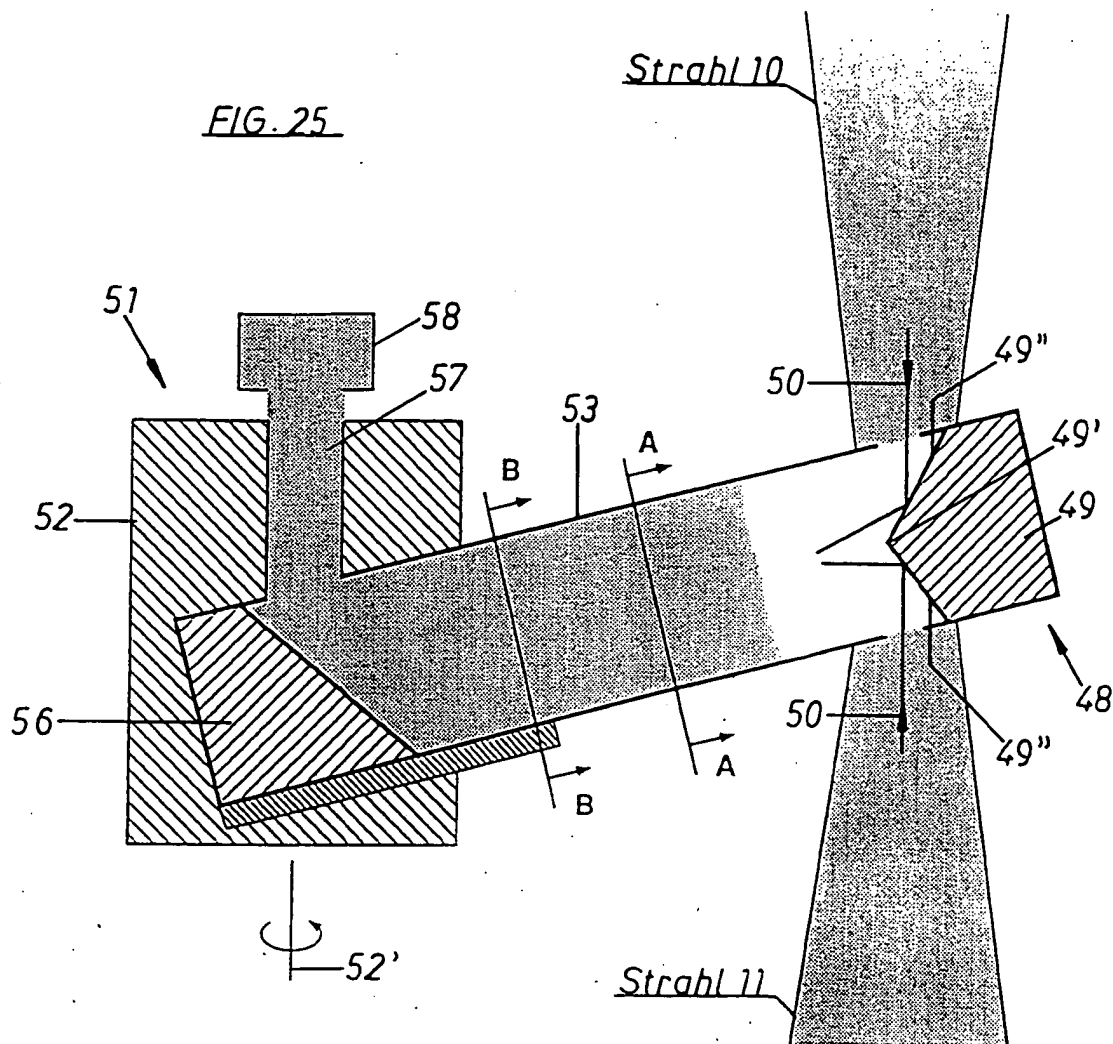


FIG. 26a

Schnitt A-A

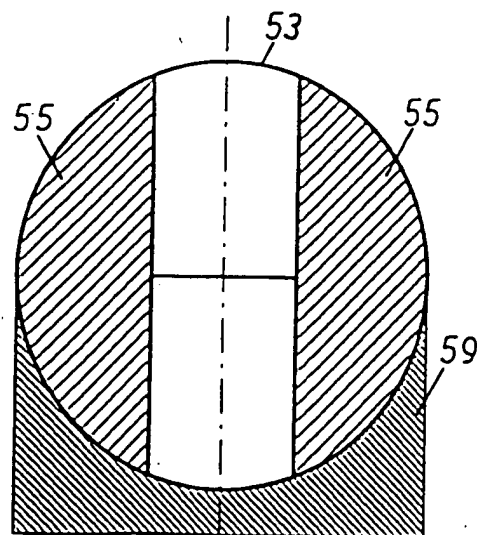


FIG. 26b

Schnitt B-B